

Rainer Bartels

WERKSTOFFKUNDLICHE UNTERSUCHUNGEN
VON SELBSTPOLYMERISIERENDEN
KUNSTSTOFFEN FÜR DIE KIEFERORTHOPÄDIE

1983



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universität München
(Direktor: Professor Dr. A. Stahl)

WERKSTOFFKUNDLICHE UNTERSUCHUNGEN VON SELBSTPOLYMERISIERENDEN
KUNSTSTOFFEN FÜR DIE KIEFERORTHOPÄDIE

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde an der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Rainer Bartels
aus Hersbruck

1983

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität München

Berichterstatter: Priv. Doz. Dr. Dr. B. Rossiwall
Mitberichterstatter: Prof. Dr. A. Stahl
Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 16. Juni 1983



DISSERTATIONS - UND FOTODRUCK FRANK GmbH
8000 München 2, Gabelsbergerstraße 15, Tel. 2809090

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Material und Methoden	4
2.1. Untersuchte Kunststoffe und Verarbeitungsvorschriften	4
2.1.1. Orthocryl ^R	4
2.1.2. Forestacryl Strong ^R	5
2.1.3. Orthoresin ^R	6
2.1.4. Levopress ^R	7
2.1.5. Testpräparat	7
2.2. Die Verarbeitung der Selbstpolymerisate nach der Modelliermethode	9
2.2.1. Kriterien bei der Verarbeitung nach der Modelliermethode	10
2.3. Herstellung der Prüfkörper	12
2.3.1. Kriterien bei der Herstellung der Prüfkörper	12
2.3.2. Andernorts angewandte Herstellungsverfahren	12
2.3.3. Problematik der Prüfkörperherstellung und Vorversuche	13
2.3.4. Beschreibung der Hohlformen für die Polymerisation	16
2.3.4.1. Hohlform aus Metall	16
2.3.4.2. Hohlform aus Gips	17
2.3.5. Verfahrensweise bei der Herstellung der Prüfkörper	17
2.3.5.1. Vorbereitung der Hohlform	17
2.3.5.2. Einbringen des Kunststoffes in die Hohlform	18
2.3.5.3. Glätten der Oberfläche und Polymerisation	18
2.3.5.4. Schneiden der Prüfkörper	19

	Seite
2.4. Variationen der Polymerisationsbedingungen bei Orthocryl ^R	19
2.4.1. Verschiedene Verhältnisse im Drucktopf; verschiedene Hohlformen	19
2.4.2. Polymerisation im Tiefziehgerät	21
2.5. Durchgeführte Werkstoffprüfungen	21
2.5.1. Biegeversuch und Schlagbiegeversuch an Dynstat-Prüfkörpern	21
2.5.1.1. Prüfvorschriften nach DIN 53435	22
2.5.1.2. Das Prüfgerät	22
2.5.1.3. Versuchdurchführung	24
2.5.1.4. Schlag- und Biegerichtung bei Anisotropie der Prüfkörper	28
2.5.2. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung der Bruchflächen von Prüfkörpern	29
2.5.2.1. Durchführung der Untersuchungen	29
2.5.3. Bestimmung des Restmonomergehaltes von Prüfkörpern	30
2.5.3.1. Höhe des Restmonomergehaltes	30
2.5.3.2. Gaschromatographische Restmonomerbestimmung	30
2.5.4. Verhalten der Selbstpolymerisate bei der Verarbeitung nach der Modelliermethode	31
2.5.4.1. Untersuchungen	32
3. Ergebnisse	33
3.1. Schlagbiegeversuch, Biegeversuch und Restmonomergehalt	33
3.1.1. Schlagzähigkeit	33
3.1.2. Biegefestigkeit	39
3.1.3. Restmonomergehalt	44
3.1.4. Relative Werte	46

	Seite
3.2. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen	48
3.3. Verhalten der Werkstoffe während der Verarbeitung	57
4. Diskussion der Ergebnisse	58
5. Zusammenfassung	67
6. Schriftenverzeichnis	69

1. Einleitung

In der Kieferorthopädie gehören herausnehmbare Apparaturen zu den am häufigsten gebrauchten Behandlungsmitteln. Die sogenannten "Plattenapparaturen" bestehen aus einer "Basis-Platte", an der je nach Notwendigkeit aktive und passive Elemente aus Draht oder Dehnschrauben befestigt sind. Bei den bimaxillär wirkenden, sogenannten funktionskieferorthopädischen Apparaturen übernimmt ein "Basisblock" Behandlungsaufgaben und dient darüber hinaus als Träger für passive oder aktive Drahtelemente.

Die Basisplatten und die Basisblöcke liegen in der Regel palatinal oder lingual der Kieferschleimhaut an. Da in Bezug auf Paßform, Schleimhautverträglichkeit und Festigkeit der kieferorthopädischen Apparaturen ähnliche Anforderungen wie beim schleimhautgetragenen Zahnersatz gestellt werden, boten und bieten sich für deren Herstellung die in der Prothetik gebräuchlichen Werkstoffe an. Es wurden also die Basisplatten und Blöcke zuerst aus Kautschuk gefertigt.

Mit dem Einzug der Kunststoffe in die Prothetik kamen heißpolymerisierende Acrylate zur Verwendung. Diese Herstellungsverfahren setzen jedoch die Modellierung in Wachs und die Einbettung in Küvetten voraus, was besonders im Hinblick auf die kunstvoll gebogenen Drahtteile unvorteilhaft ist, da diese beim Ausbetten leicht verbogen werden können. Bei funktionskieferorthopädischen Apparaturen, die im Fixator in Wachs modelliert und dann ohne Modelle eingebettet werden, ist natürlich die Gefahr der Paßungenauigkeit besonders groß.

Wegen dieser Probleme, die bei der Heißpolymerisation in Küvetten auftreten, und auch wegen des damit verbundenen Zeitaufwandes werden die selbstpolymerisierenden oder kaltpoly-

merisierenden Kunststoffe seit ihrem Erscheinen auf dem Dentalmarkt in der kieferorthopädischen Technik bevorzugt angewendet.

Waren die mechanischen Eigenschaften und die Verarbeitungseigenschaften der Selbstpolymerisate anfangs noch sehr unbefriedigend, so stehen seit der Einführung der "Orthocryl-technik" vor ungefähr 20 Jahren Selbstpolymerisate verschiedener Hersteller mit befriedigenden, für die kieferorthopädische Technik ausreichenden Eigenschaften zur Verfügung. Bei der Verarbeitung dieser größtenteils speziell für die Kieferorthopädie modifizierten Acrylate kommen hauptsächlich zwei Methoden zur Anwendung: Die Anteig- und die Streumethode. Diese beiden Methoden, die noch ausführlich beschrieben werden, gestatten das Modellieren der Kunststoffbasis direkt auf dem Gipsmodell; wobei bei der Anteigmethode Pulver und Flüssigkeit des selbstpolymerisierenden Kunststoffes in einem Gefäß vermischt und auf das Gipsmodell aufgetragen, bei der Streumethode Pulver und Flüssigkeit direkt auf dem Modell vermischt werden.

Während die meisten im prothetischen und konservierenden Bereich der Zahnheilkunde verwendeten Acrylatkunststoffe schon mehrmals werkstoffkundlichen Materialprüfungen unterzogen und dabei auch verschiedene Verarbeitungstechniken untersucht wurden, liegen über die speziell für die Kieferorthopädie entwickelten Werkstoffe und deren Verarbeitungsmethoden nur sehr wenige und meist unvollständige Prüfberichte vor.

Ziel der vorliegenden Arbeit soll es daher sein, einige Selbstpolymerisate auf Acrylbasis, die speziell für die Kieferorthopädie angeboten werden, werkstoffkundlich zu untersuchen. Es werden Biegefestigkeit, Schlagzähigkeit und Restmonomergehalt von fünf dieser Kunststoffe bestimmt. Diese Werte werden getrennt nach der Herstellung durch Anteig- oder Streumethode

ermittelt. Außerdem soll das Verhalten der Präparate bei der Verarbeitung nach beiden Methoden festgestellt werden.

An einem der Kunststoffe soll untersucht werden, inwieweit sich die Bedingungen während der Polymerisation auf die Qualität des Endproduktes auswirkt. Eine rasterelektronenmikroskopische Betrachtung der Bruchfläche bestimmter Prüfkörper soll sich anschließen.

2. Material und Methoden

2.1. Die untersuchten Kunststoffe und deren Verarbeitungsvorschriften

Alle untersuchten Kunststoffe sind selbstpolymerisierende Acrylate, die, außer dem Präparat Levopress^R, speziell für die Herstellung kieferorthopädischer Apparate in den Handel gebracht wurden. Verarbeitungsvorschriften der Hersteller waren den Originalpackungen beigelegt oder konnten angefordert werden. Werkstoffkundliche Prüfwerte wie Biegefestigkeit, Schlagzähigkeit und Restmonomergehalt waren in der Regel vom Hersteller nicht zu bekommen. Einzige Ausnahme war ein Testpräparat, zu dem uns werkstoffkundliche Prüfwerte zusammen mit Vergleichswerten anderer Präparate geliefert wurden. Von allen geprüften Werkstoffen wurden über den Handel Originalpackungen gekauft; die Verarbeitung erfolgte nach den Anweisungen des Herstellers.

2.1.1. Orthocryl^R

(Hersteller: Firma Dentaureum, D-7530 Pforzheim)

Orthocryl ist seit ungefähr 20 Jahren für Kieferorthopädie und Prothetik im Handel. Laut Herstellerangabe ist das Präparat besonders für die Streumethode (hier "Sprühtechnik" genannt) und die Anteigmethode (hier "Modellierteknik") geeignet.

Im folgenden werden die sehr ausführlichen Verarbeitungsbeschreibungen des Herstellers zitiert:

Verarbeitungsrichtlinien für die Streumethode:

Das in einer Weichplastikflasche mit Sprühdüse befindliche Polymerpulver wird auf das im Polyklav-Drucktopf gewässerte Gipsmodell in kleinen Mengen aufgesprüht und sofort mit Monomer aus einer Spritzflasche aus Weichplastik benetzt.

Dieser Vorgang wird dauernd wiederholt. Dabei wird gleichzeitig die Oberfläche der herzustellenden Apparatur modelliert.

Verarbeitungsrichtlinien für die Anteigmethode:

Pulver und Flüssigkeit werden in einem Anrührgefäß im Verhältnis 2,5 : 1 angerührt. Das gut durchgespatelte Gemisch bleibt ungefähr fünf bis sieben Minuten je nach Raumtemperatur im abgedeckten Gefäß stehen, bis der modellierfähige Zustand eintritt (Anquellphase). Mit eingefetteten Fingern wird der Kunststoffteig auf das gewässerte Modell aufgetragen, wobei bis zu 20 Minuten Verarbeitungszeit zur Verfügung stehen. Es wird empfohlen, bei einer Raumtemperatur über 20° C die Monomerflüssigkeit im Kühlschrank zu lagern.

Aushärtung bei Anwendung beider Methoden:

Vor dem Eintreten der Reaktionswärme wird das kunststoffbeschichtete Gipsmodell in den Polyklavdrucktopf gegeben; dieser ist bis zwischen drei und fünf cm unterhalb des Randes mit 25 - 40° Celsius warmem Wasser gefüllt. Bei einem Druck von 2,2 bar wird der Kunststoff 30 Minuten lang auspolymerisiert.

Die Streumethode wird für die Anfertigung kieferorthopädischer Plattenapparaturen, die Anteigmethode für die Anfertigung funktionskieferorthopädischer, bimaxillärer Apparaturen empfohlen.

2.1.2. Forestacryl Strong^R

(Hersteller: Firma Forestadent, D-7530 Pforzheim)

Ein laut Hersteller eigens für die Kieferorthopädie entwickelter selbstpolymerisierender Kunststoff, der sich auch für prothetische Zwecke eignet.

Verarbeitungshinweis des Herstellers:

Streumethode: aus einer Streuflasche wird eine Pulverschicht auf das Modell aufgebracht, die anschließend aus einer Spritzflasche mit der entsprechenden Flüssigkeit benetzt wird. Dieser Vorgang wird so oft wie nötig wiederholt. Das Pulver hat laut Hersteller eine hervorragende Ansaugfähigkeit; die Standfestigkeit des Kunststoffteiges auf dem Modell ist ausgezeichnet.

Anteigmethode: Pulver und Flüssigkeit werden im Verhältnis 2 : 1 im Anrührgefäß durchgespatelt. Die dünnflüssige Masse wird auf das Modell aufgetragen und anschließend modelliert. Bei Anwendung beider Methoden erfolgt die Aushärtung im Drucktopf mit 30 - 35° Celsius warmem Wasser bei 2 - 2,5 bar 15 Minuten lang.

2.1.3. Orthoresin^R

Hersteller: Firma De Trey, D-6200 Wiesbaden)

Dieses Präparat wird vom Hersteller für herausnehmbare orthodontische Apparaturen empfohlen.

In der Gebrauchsanweisung wird die Streumethode beschrieben: Nach dem Wässern des Arbeitsmodells in warmem Wasser wird dieses isoliert. Mit einem Pinsel wird Monomer aufgetragen und mit Pulver bestreut. Auf diese Weise werden weitere Schichten aufgetragen, wobei das Monomer mit einem Spezialtropfer hinzugegeben wird. Anschließend wird der Kunststoff mit dem monomerfeuchten Pinsel geglättet.

Die Polymerisation soll im Drucktopf, der mit 45 - 50° C heißem Wasser gefüllt ist, bei 2 bar 8 - 10 Min. lang durchgeführt werden.

2.1.4. Levopress^R

(Hersteller: Firma Bayer, D-5090 Leverkusen)

Laut Hersteller neben der Verwendung in der Prothetik zur Herstellung von kieferorthopädischen Geräten bestens geeignet. Bis zwei Minuten nach Mischungsbeginn gießfähig, ab fünf bis zehn Minuten eine modellierfähige bis knetbare Konsistenz. Weitergehende Verarbeitungshinweise waren weder der Packung beigelegt noch vom Hersteller zu erhalten.

2.1.5. Testpräparat

Es handelt sich um einen selbstpolymerisierenden Kunststoff, der laut Hersteller für die Polymerisierung von kieferorthopädischen Apparaturen bestimmt ist.

Verarbeitungshinweis des Herstellers:

Nach Wässerung des Gipsmodelles wird dieses isoliert.
Streumethode: Die Modelloberfläche wird mit einem Pinsel mit Monomerflüssigkeit bestrichen und anschließend aus einer Pulversprühflasche mit Pulver bestreut. Es folgt die Befeuchtung des Pulvers mit Flüssigkeit aus der Spezialtropfflasche. Wiederholung des Vorganges, bis die gewünschte Materialstärke erreicht ist. Die Kunststoffoberfläche kann mit dem monomerfeuchten Pinsel geglättet werden.
Aushärtung: Im Drucktopf bei 45° Celsius und 2,5 bar in 10 Minuten.

Tabelle 1: Herstellerempfehlungen für die Verarbeitung der verschiedenen
Kaltpolymerisate

	Orthocryl ^R	Forestacryl Strong ^R	Orthoresin ^R	Levopress ^R	Testpräparat
Chargen-Nr.					
Pulver	377	---	YE 9	10652 G	VP 03/454
Flüssigkeit	0580	---	80.07.07	10656 G	
Anteigmethode	ja	ja	---	---	---
Streumethode	ja	ja	ja	---	ja
Drucktopf mit					
Wasserbad	ja	ja	ja	---	ja
Temperatur (°C)	25 - 40	30 - 35	45 - 50	---	45
Druck (bar)	2,2	2 - 2,5	2	---	2,5
Zeit (min)	30	15	8 - 10	---	10

2.2. Die Verarbeitung der Selbstpolymerisate nach der Modelliermethode

Wie auch aus den Verarbeitungshinweisen der Hersteller ersichtlich, hat sich in der Kieferorthopädie bei der Verarbeitung von Selbstpolymerisaten ein spezielles Verfahren durchgesetzt, das wir Modelliermethode nennen wollen:

Die Drahtteile der Apparatur werden am Gipsmodell mit Wachs fixiert, und zwar so, daß die Retensionsteile, die im Kunststoff verankert werden sollen, frei liegen. Sodann wird die Kunststoffschiicht auf das isolierte Modell aufgebracht und mit monomerbenetztem Finger oder Spatel zur gewünschten Form ausmodelliert. Beim Auftragen der Kunststoffschiicht kann nach 2 Methoden verfahren werden:

A) Die Anteigmethode:

Die Monomerflüssigkeit wird mit dem Polymerpulver in einem Gefäß zu einem Brei verrührt. Nach dem Abdecken des Gefäßes wird das Gemisch einige Zeit stehen gelassen, bis die Anquellzeit vorbei ist. Der Kunststoffbrei kann je nach Anmischungsverhältnis als dickflüssige Masse aufgetropft oder als knetbare Masse aufgetragen werden.

B) Die Streumethode:

Das Polymerpulver wird mit einer Sprühflasche dünn auf das Modell aufgesprüht und anschließend mit Monomer, das aus einer Spritzflasche aufgetropft wird, benetzt. Dies wird Schicht für Schicht fortgeführt, bis die gewünschte Dicke des Kunststoffes erreicht ist.

Dabei ist es wichtig, daß das aufgesprühte Pulver vollkommen von Flüssigkeit durchdrungen wird, da es sonst zu

Lufteinschlüssen kommt. Das Pulver muß die Flüssigkeit gut aufsaugen. Das Anquellen des Kunststoffteiges erfolgt dabei auf dem Modell.

Der nach Anteig- oder Streumethode verarbeitete Kunststoff wird anschließend unter Zuführung von Druck und Starterwärme polymerisiert. Dabei wird nach einer von den Herstellern allgemein empfohlenen Methode wie folgt vorgegangen:

Das Gipsmodell mit dem aufmodellierten Kunststoffteig wird in einen Drucktopf, der je nach Präparat mit 30 - 45° C warmen Wasser angefüllt ist, gestellt. Nach Verschließen des Topfes wird in diesem ein Druck von 2 - 2,5 bar erzeugt, der über einen Zeitraum von 10 - 30 Minuten aufrechterhalten wird.

Vor dem Auftragen des Kunststoffes muß das Gipsmodell gut gewässert werden, da unter Druckeinwirkung Luft aus dem Modell in den Kunststoffteig gepreßt werden kann und dieser mit Blasen durchsetzt wird. Nach dem Wässern sollte eine Isolierungsschicht aufgetragen werden, um das Abheben der fertig polymerisierten Apparatur vom Gipsmodell zu gewährleisten.

2.2.1. Kriterien bei der Verarbeitung nach der Modelliermethode

Plastische Phase:

Der Teig muß eine Zeit lang plastisch veränderbar sein; d.h., in dieser Phase darf der Kunststoff noch keine elastischen Eigenschaften besitzen. In diesem Fall würden sich modellierte Formen durch elastische Kräfte in der Masse wieder verändern. Nur für die Dauer dieser Phase kann der Kunststoff ausmodelliert werden.

Modellierzeit:

Dauer der plastischen Phase

Standfestigkeit:

Aus Kunststoffteig modellierte Strukturen wie Erhebungen, Vertiefungen und Kanten, dürfen durch die Schwerkraft nicht wieder verfließen, d.h., der Teig muß die gewünschten Form beibehalten.

Modellierbarkeit:

Die Modellierbarkeit des auf das Modell aufgebracht Polymer-Monomer-Gemisches zeichnet sich durch Güte und Dauer der plastischen Phase, sowie durch die Standfestigkeit dieses Gemisches aus. Ideale Modellierbarkeit setzt also eine hohe Plastizität über eine lange Zeit bei hoher Standfestigkeit voraus.

Anquellzeit:

Bei der Anteigmethode entsteht durch das Verühren von Pulver und Flüssigkeit eine bröselige Aufschwemmung, die sich schwer auf das Modell aufbringen läßt und an diesem nicht haftet. Nach dem Anquellen ist die Masse teigig und klebrig und zieht leicht Fäden. Dies ist gleichzeitig der Beginn der plastischen Phase.

Durchdringungsvermögen:

Dies ist besonders bei der Streumethode wichtig. Die Flüssigkeit muß das Pulver beim Auftropfen oder Sprühen benetzen und durchdringen, da sonst unbenetzte Pulverteile im Gemisch vorhanden sind. Dies führt zur Beeinträchtigung der mechanischen und optischen Eigenschaften. Die Bildung von Flüssigkeitsperlen, die auf dem Pulver stehen bleiben und abrollen können, behindert die zügige Verarbeitung.

2.3. Herstellung der Prüfkörper

2.3.1. Kriterien bei der Herstellung der Prüfkörper

Ziel der Untersuchungen war es, mechanische Eigenschaften der Testkunststoffe zu ermitteln, nachdem diese in der selben Art und Weise wie bei der Herstellung von kieferorthopädischen Apparaturen polymerisiert worden waren. Die Probekörper für die Untersuchungen mit dem Dynstat-Gerät sollten dementsprechend nach den in 2.2. aufgeführten Methoden hergestellt werden. Dies setzte folgende Kriterien voraus:

- a) Die den Kunststoffteig aufnehmende Hohlform besteht aus Gips
- b) Kein Pressen des Kunststoffteiges während der Polymerisation
- c) Überdruckpolymerisation im Drucktopf
- d) Die Hohlform mit Kunststoffteig befindet sich im Wasserbad, wobei die Oberfläche des Teiges direkten Kontakt mit dem Wasser hat

2.3.2. Andernorts angewandte Herstellungsverfahren

Bei mit dem Dynstat-Gerät oder ähnlichen Prüfmaschinen durchgeführten Werkstoffprüfungen wurde meist mit Küvetten gearbeitet, wobei der Kunststoffteig gepreßt wurde. KRACKE (1970) MEYER (1971), HEINDL (1965), RITZE et al (1962), SCHWICKERATH (1963), BREUSTEDT et al (1969), RINK (1956), KNOLL (1965) und HIPPE (1964) untersuchten Heiß- oder Kaltpolymerisate, die als Prothesenwerkstoffe unter der Presse verarbeitet werden. MEYER (1971), HEINDL (1965), SCHWICKERATH (1963, 1966, 1967) und HIPPE (1964) verwendeten

bei der Prothesenherstellung Küvetten, die mit einer Gipsfüllung versehen waren. KRACKE (1970), HEINZE (1974), KNOLLMANNSPERGER und VIOHL (1977), BREUSTEDT et al (1969), RITZE et al (1962), BRINK (1956) und KNOLL (1965) verwendeten Stahlküvetten ohne Gipsfüllung, wobei jeweils eine oder mehrere Dynstat-Proben hergestellt wurden, die keiner Nachbearbeitung bedurften oder aus einer Platte herausgesägt wurden. Bei all diesen Verfahren wurde beim Pressen mit einem Küvetten-Deckel gearbeitet, der als sog. Konter fungierte und eine Berührung des Kunststoffes mit dem Wasser des Polymerisationsbades verhinderte. KNOLL (1965) stellte die Dynstat-Prüfkörper aus Orthocryl^R in einer Stahlküvette ohne Deckel her; diese hatten an der Oberfläche Wasserkontakt und mußten an dieser nachbearbeitet werden. Es wurden Prüfkörper im Streuverfahren hergestellt. MAZOURI (1968) stellte Prüfkörper in einer Gipsform her und polymerisierte sie ebenfalls im Drucktopf.

2.3.3. Problematik der Prüfkörperherstellung und Vorversuche

Um die Prüfkörper nach den unter 2.3.1. genannten Kriterien herzustellen, wurden zunächst Gipshohlformen nach der Vorlage einer von der Fa. Kulzer, Bad Homburg, überlassenen Metallküvette hergestellt. Diese besteht aus einer Stahlgrundplatte, die mit einer 3 mm dicken Stahlplatte belegt wird. In dieser Stahlplatte sind 2 Reihen von je 5 rechteckigen Aussparungen mit den Maßen 10 x 15 mm eingelassen. Werden die so entstandenen 10 Hohlformen mit Kunststoff beschickt, eine Deckplatte aus Stahl daraufgelegt und unter der Presse alle drei Platten zusammengepreßt, können 10 Dynstat-Prüfkörper in der Größe von 15 x 10 x 3 mm erzeugt werden. Es erwies sich jedoch als fast unmöglich, auf diese Art optisch blasenfreie Prüfkörper herzustellen. In einer Versuchsreihe wurde ermittelt, daß mit dem bloßen Auge zu erkennende Blasen beim Biege- wie auch beim Schlagbiegeversuch die Ergebnisse bis zu 100% verändern können.

Da der Kunststoff bei der Polymerisation nicht gepreßt werden und die Hohlform aus Gips bestehen sollte, wurde die Metallvorlage ohne Druckplatte mit einer Silikonabformmasse (Wacker-Silicon^R der Wacker-Chemie, (D-8000 München) abgeformt und diese mit Gips ausgegossen. Die so gewonnene Hohlform aus Gips glich genau der Metallvorlage. Die unter Verwendung dieser Hohlform im Drucktopf mit unbedeckter Oberfläche im Wasserbad hergestellten Prüfkörper zeigten jedoch bei Prüfung mit dem Dynstat-Gerät eine zu große Streuung der Werte von Schlagfähigkeit und Biegefestigkeit. Der Grund ist vermutlich darin zu suchen, daß von den Prüfkörpern in den Originalabmessungen 6 Seiten in Gips eingebettet sind und trotz Isolierung nicht auszuschließen ist, daß nach dem Füllen der Form Monomer wegdiffundiert. Außerdem können beim Füllen mit Kunststoffteig durch ausgetrocknete Teigteile inhomogene Bereiche entstehen.

Werden die Prüfkörper nach der Streumethode hergestellt, ist bei solch kleinen Abmessungen durch Randwirkung und durch in der Methode liegende Ungenauigkeit eine annähernd homogene Kunststoffbeschaffenheit kaum zu erreichen. Außerdem entsteht an der formoffenen Oberfläche durch das abschließende Bestreuen mit Pulver zum Zweck des Aufsaugens von Monomerüberschüssen eine inhomogene Schicht mit Lufteinschlüssen. Aus diesen Gründen schien es erfolgversprechender, die Prüfkörper aus größeren Kunststoffstücken herauszuschneiden. Es wurden Streifen von 7 cm Länge, 18 mm Breite und 4,5 mm Dicke gewählt. Von diesen Streifen wurde an den Längsseiten je 1,5 mm, von der Oberfläche 1 mm und von der Bodenseite 0,5 mm abgefräht. Die Probleme der Randwirkung, Diffusion und Oberflächeninhomogenität waren damit weitgehend beseitigt.

In weiteren Vorversuchen wurde ermittelt, daß eine unterschiedliche Dicke des Kunststoffstreifens vor dem Abfräßen

der Oberfläche offensichtlich die mechanischen Eigenschaften des Kunststoffes beeinflusste. Es war daher notwendig, die Oberfläche des noch weichen Kunststoffteiges nach dem Einbringen in die Hohlform auf eine einheitliche Höhe einzuebnen. Das Glattstreichen mit dem Spatel erwies sich wegen des dazu erforderlichen Monomerüberschusses als problematisch; außerdem traten beim Glattstreichen in Längsrichtung Spannungsbiegungen im fertigen Kunststoffstreifen auf. Das selbe Problem trat beim Glätten mit einer Walze auf, wobei auch die Klebrigkeit des Kunststoffbreies mit Monomerüberschuß nicht zu beseitigen war. Es mußten daher folgende Anforderungen beim Glätten und Einebnen der Oberfläche gestellt werden:

Kein Monomerüberschuß, kein Kleben des Teiges am Instrument und keine gerichtete Bearbeitung des Teiges.

Es wurde folgende Lösung gefunden:

Bedecken des in der Hohlform gering überstehenden Teiges mit einem mit Wasser angefeuchteten Filterpapier, das wiederum von einer dünnen Kunststoffolie, die nicht durch Acrylat angelöst wird, überdeckt wird. Darauf wird eine Metall- oder Kunststoffplatte mit ebener Oberfläche gelegt. Unter der Spindelpresse wird von Hand vorsichtig angepreßt, bis der Teig nicht mehr am Rand herausquillt. Die Presse wird sofort wieder geöffnet. Anschließend werden Platte und Folie entfernt; das Filterpapier verbleibt während der Polymerisation im Drucktopf auf der Hohlform und läßt sich danach zum größten Teil abziehen.

Die auf diese Weise hergestellten Streifen wiesen konstant eine Durchbiegung auf, und zwar so, daß die konkave Seite dem Boden der Hohlform zugewandt war. Vermutlich ist dies eine Erscheinung, die durch die Schrumpfung des Kunststoffes beim Polymerisationsvorgang hervorgerufen wird:

Beim Polymerisieren im Drucktopf mit Wasserbad muß die Gipshohlform wegen der Gefahr der Luftblasenbildung gewässert werden. Beim Wässern mit kaltem Leitungswasser wird die Hohlform stark abgekühlt. Im 40° C warmen Wasserbad des Drucktopfes wird daher am Boden der Hohlform anfangs keine Starterwärme zugeführt; während die Oberfläche mit dem warmen Wasser in Berührung ist.

Der Polymerisationsvorgang wird also am Boden verzögert, während er an der Oberfläche beschleunigt wird. Folglich setzt am Boden die Polymerisation und damit die Schrumpfung erst ein, wenn an der Oberfläche bereits eine feste Schicht besteht. Eine Verbiegung des Streifens in der beschriebenen Art ist die Folge. Die Vermutung wird dadurch bestätigt, daß beim Streuverfahren eine wesentlich geringere Durchbiegung des Streifens auftritt. Bei diesem Verfahren haben die Schichten am Boden der Hohlform einen zeitlichen Vorsprung bei der Polymerisation vor den Oberflächenschichten, da Pulver und Flüssigkeit früher vereinigt werden.

Die Polymerisation an der Oberfläche und dem Boden kann also trotz geringerer Wärmezufuhr am Boden fast gleichzeitig erfolgen.

Die Wässerung der Gipshohlform wurde daher im 40° C warmen Wasser des Drucktopfes vorgenommen; die Durchbiegung der Kunststoffstreifen war dabei nicht mehr oder nur in sehr geringem Ausmaß zu beobachten.

Es liegt außerdem nahe, die Ursache der manchmal zu beobachtenden Paßungenauigkeit von KFO-Geräten in diesen Erscheinungen zu suchen.

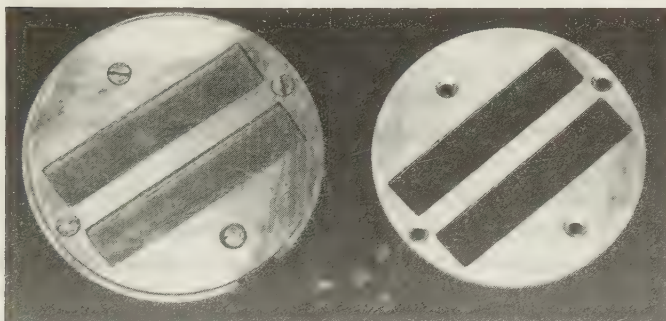
2.3.4. Beschreibung der Hohlformen für die Polymerisation

2.3.4.1. Hohlform aus Metall

Auf einen runden, ca 5 mm dicken Messingboden wurde eine 3 mm dicke Distanzplatte aus Stahl, aus der die Umrisse der Seitenwände in konischer Form herausgeschnitten waren, aufgeschraubt.

Die Schraubenköpfe waren versenkt. Nach dem Polymerisieren konnte die Distanzplatte abgeschraubt werden. Die Kunststoffstreifen mit den Abmessungen 4,5 x 18 x 70 mm wurden herausgedrückt.

Abb. 1: Die Metallhohlform; rechts die abgenommene Distanzplatte



2.3.4.2. Hohlform aus Gips

Von der beschriebenen Metallform wurde ein Abguß aus Siliconabformmaterial (Firma Wacker-Chemie, D-8000 München) hergestellt, der beliebig oft mit Gips ausgegossen werden konnte. Auf diese Weise wurden exakte Abgüsse der Metallhohlform aus Moldano-Modellgips hergestellt, der bei konstantem Wasser-Gips-Verhältnis in einem Vakuum-Mixgerät angerührt wurde.

2.3.5. Verfahrensweise bei der Herstellung der Prüfkörper

2.3.5.1. Vorbereitung der Hohlform

Die Metallhohlform brauchte nicht vorbehandelt zu werden. Die Gipshohlformen wurden 15 Minuten in 40° C warmem Wasser

gewässert und anschließend mit einer dünnen Isolierschicht versehen (Isoliermittel auf Alginatbasis, Firma Dentaureum, D-7530 Pforzheim). Bei einem Teil der Prüfkörper wurde die Hohlform nicht isoliert.

2.3.5.2. Einbringen des Kunststoffes in die Hohlform

Anteigmethode:

Polymerpulver und Monomerflüssigkeit wurden im Porzellan-gefäß in vom Hersteller empfohlenen Volumenverhältnis zu einem Brei verrührt und bis zum Ende der Anquellzeit abgedeckt stengelassen. Die benötigten Volumenmengen von Pulver und Flüssigkeit wurden in Meßgläsern exakt abgemessen. Da eine gleiche Menge Pulver, je nach dem, ob es sich in lockerem oder gepreßtem Zustand befindet, ein sehr verschiedenes Volumen aufweisen kann, wurde das Meßglas mit dem Pulver so lange mit dem Boden aufgestoßen, bis die Oberfläche nicht weiter absank.

Streumethode:

Pulver und Monomer wurden nach der in 2.2. beschriebenen Methode schichtweise aufgebracht. Dabei mußte darauf geachtet werden, daß das Pulver immer vollständig mit Flüssigkeit durchnäßt wurde, um Lufteinschlüsse zu vermeiden. Nach Art der Methode war es nicht möglich, ein bestimmtes Mischungsverhältnis zu erreichen. War die gewünschte Schichtstärke erreicht, wurde die ev. an der Oberfläche vorhandene überschüssige Monomerflüssigkeit mit Pulver bestreut, wonach das überschüssige Pulver abgeblasen wurde.

2.5.3. Glätten der Oberfläche und Polymerisation

Wie in 2.3.3. beschrieben, wurden ein angefeuchtetes Filterpapier, eine dünne Kunststoffolie und eine massive Deck-

platte auf die Hohlform gelegt, wonach unter der Spindel-
presse kurz angepreßt wurde. Anschließend wurden Deck-
platte und Kunststoffolie entfernt. Das Filterpapier
wurde mit einer Klemmvorrichtung aus Draht auf der Hohl-
form fixiert. Das Auspolymerisieren erfolgte im Druck-
topf nach Vorschrift der Hersteller und bei variierten
Versuchsbedingungen.

2.3.5.4. Schneiden der Prüfkörper

Die auspolymerisierten Kunststoffstreifen wurden nach
mindestens einer Woche Lagerung an Luft an Ober- und
Unterseite sowie an beiden Längsseiten abgefräst und
anschließend mit einer Kreissäge zerschnitten. Aus dem
Mittelbereich der Streifen wurden je 5 Prüfkörper in
den Abmessungen 15 x 10 x 3 mm gewonnen. Zur Bearbeitung
wurden Fräsen und Sägen mit großem Durchmesser verwendet,
um eine Erhitzung des Kunststoffes zu vermeiden. Außer-
dem wurde mit Wasser gekühlt.

2.4. Variationen der Polymerisationsbedingungen bei Orthocryl^R

2.4.1. Unterschiedliche Verhältnisse im Drucktopf; verschiedene Hohlformen

Ziel der Untersuchungen war es, nicht nur die mechanischen
Eigenschaften verschiedener Präparate zu ermitteln und
zu vergleichen, sondern auch zu prüfen, welche Auswirkungen
verschiedene Polymerisationsbedingungen auf das End-
produkt haben können. Die Versuche wurden an einem be-

deutenden am Markt befindlichen Präparat für die Kiefer-orthopädie, dem Präparat Orthocryl^R durchgeführt.

Von Interesse waren besonders verschiedene Verhältnisse im Drucktopf in Bezug auf Druck, Temperatur, Zeit und das Medium (Wasser, Luft). Außerdem wurden Hohlformen aus Metall oder Gips verwendet, wobei bei letzteren auch die Frage der Isolierung von Bedeutung war. Tabelle 2 zeigt auf, unter welchen Verhältnissen Prüfkörper polymerisiert wurden; es wurde jeweils nach Anteig-, und Streumethode gearbeitet. Die Ergebnisse sollten besonders der Überprüfung der üblichen oder von den Herstellern empfohlenen Polymerisationsmethoden dienen.

Tabelle 2: Verschiedene Bedingungen bei der Verarbeitung von Prüfkörpern aus Orthocryl^R im Drucktopf. Es wurden je 10 Prüfkörper im Anteig- und Streuverfahren hergestellt.

Material der Hohlform	Isolierung	Druck (bar)	Temperatur (°C)	Zeit (min)	Medium
Metall	---	2,2	40	30	Wasser
Gips	nein	2,2	40	30	"
Gips	ja	2,2	40	30	"
Gips	"	<u>1,0</u>	40	30	"
Gips	"	<u>3,0</u>	40	30	"
Gips	"	2,2	<u>20</u>	30	"
Gips	"	2,2	40	<u>10</u>	"
Gips	"	2,2	40	30	<u>Luft</u>

2.4.2. Polymerisation im Tiefzieh-Gerät

Von Interesse war die Frage, ob das während des Polymerisationsvorganges zugegebene Wasser die Eigenschaften des Endproduktes negativ beeinflussen kann. Aus diesem Grunde sollten Prüfkörper nach den gleichen Verfahren in den gleichen Hohlformen ohne Kontakt mit Wasser polymerisiert werden.

Es bot sich hier eine von der Firma Scheu Dental angegebene Methode an, das Gipsmodell wasserdicht zu isolieren: Eine 0,1 mm starke Isofolan-Folie wird im Tiefzieh-Gerät über die Gipshohlform gezogen. (Hersteller von Gerät und Folie: Firma Scheu-Dental, D-5860 Iserlohn)

Gegen das Wasser im Drucktopf wurde der aufgetragene Kunststoff mit einer zweiten übergezogenen Folie isoliert. Diese Folie verbindet sich nicht mit Acrylat und wird nicht durch Acrylatmonomer angelöst.

Die Prüfkörper wurden im Tiefzieh-Gerät unter einem Druck von 2,2 bar 30 Minuten auspolymerisiert.

2.5. Durchgeführte Werkstoffprüfungen

2.5.1. Biegeversuch und Schlagbiegeversuch an Dynstat-Prüfkörpern

Bei den wie in 2.3. beschrieben hergestellten Kunststoff-Prüfkörpern wurden gemäß der DIN-Vorschrift Nr. 53435 Biegefestigkeit und Schlagzähigkeit mit

dem Dynstat-Gerät ermittelt.

2.5.1.1. Prüfvorschriften nach DIN 53435

Es gelten folgende Prüfvorschriften:

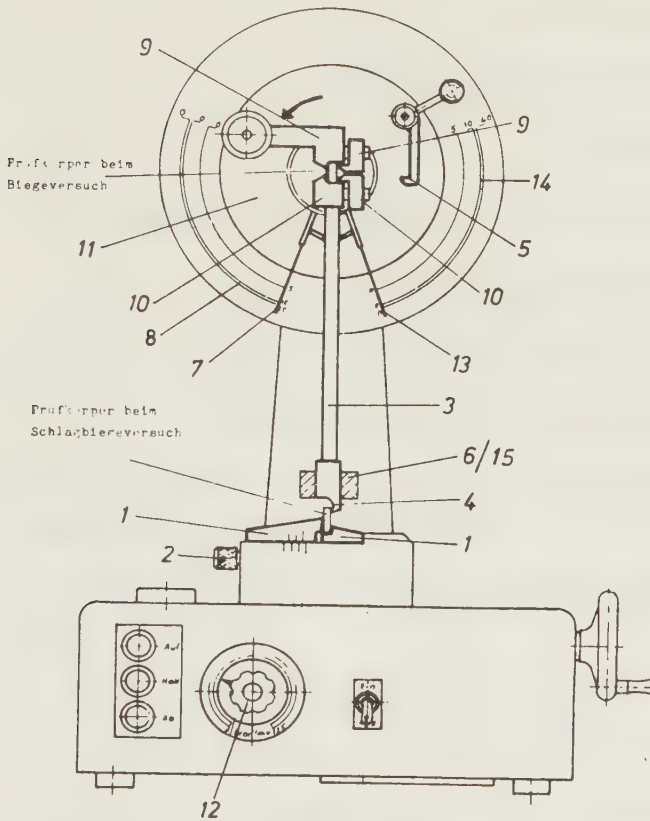
1. Herstellung der Dynstat-Prüfkörper aus dem Formteil durch spanende Bearbeitung. Mit bloßem Auge dürfen keine Beschädigungen und Fehlstellen an Oberfläche und Kanten erkennbar sein.
2. Form und Abmessungen des Prüfkörpers:
Länge $l = (15 \pm 1)$ mm
Breite $b = (10 \pm 0,5)$ mm
Dicke $h = 1,2$ bis $4,5$ mm
3. Die Prüfkörper werden mind. 16 Stunden im Normklima DIN 50014 gelagert (23°C , 50% Luftfeuchtigkeit)

2.5.1.2. Das Prüfgerät

Zur Durchführung des Schlag- und Biegeversuches wurde das Dynstat-Gerät 53 573 der Firma Karl Frank GmbH, D-6940 Weinheim, verwendet. Es handelt sich hierbei um ein Pendelschlagwerk zur Bestimmung von Biegefestigkeit und Schlagzähigkeit an kleinen Prüfkörpern aus Kunststoff.

Durch angebrachte Schleppzeiger können auf einer Kreisskala die verbrachte Schlagarbeit oder das Biegemoment beim Bruch des Prüfkörpers direkt abgelesen werden.

Abb. 2: Das Dynstat-Gerät mit den Prüfeinrichtungen



Einrichtung für den Schlagbiegeversuch:

1. Amboß mit 2 Widerlagern zur Aufnahme des Prüfkörpers
2. Justierungsschraube

3. Pendel
4. Als Hammer ausgebildetes Pendelende
5. Ausklinkvorrichtung
6. Auswechselbare Pendelgewichte
7. Schleppzeiger
8. Skala zum Ablesen der verbrauchten Schlagarbeit

Einrichtung für den Biegeversuch:

9. Obere Auflageeinrichtung für den Prüfkörper mit Biegeauflager 1 und Biegeschneide 1, beides an einer um die Pendelachse drehbaren Scheibe befestigt.
10. Untere Auflageeinrichtung für den Prüfkörper mit Biegeauflager 2 und Biegeschneide 2, am Pendel befestigt.
11. Befestigungsscheibe der oberen Auflageeinrichtung, um die Pendelachse drehbar.
12. Motorischer Antrieb zum Drehen der Scheibe
13. Schleppzeiger
14. Skala zum Ablesen des Biegemomentes
15. Auswechselbare Pendelgewichte

2.5.1.3. Versuchsdurchführung

Die Prüfkörper wurden nach dem Polymerisieren mindestens eine Woche im Labor gelagert, geschnitten und nach erneuter Lagerung 24 Stunden im Normklima aufbewahrt. Vor den Prüfversuchen wurden Breite und Durchmesser auf 1/100 mm gemessen.

Durchführung des Schlagbiegeversuches:

1. Einklinken des Pendels in 90° Stellung, Einstellen des Schleppzeigers in 0 Stellung.
2. Der Prüfkörper wird zwischen die Widerlager des Ambosses gestellt, und zwar so, daß er genau senkrecht steht. Dazu kann das Widerlager 1 einreguliert werden.
3. Ausklinken des Pendels, wobei der Ausklinkhebel langsam und kontinuierlich bewegt wird.
4. Der Hammer durchschlägt den Prüfkörper; das Pendel schwingt nach der anderen Seite aus und nimmt den Schleppzeiger mit.
5. Ablesen der verbrauchten Schlagarbeit an der Kreisskala in Joule

Auswertung des Schlagbiegeversuches:

Die Schlagzähigkeit a_n in kJ/m^2 wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$a_n = \frac{A_n}{b \times h}$$

A_n ist die abgelesene verbrauchte Schlagarbeit in kJ.

Die Dicke des Prüfkörpers = h ; die Breite = b .

Durchführung des Biegeversuches:

1. Die obere Auflageeinrichtung wird auf der Drehscheibe befestigt.
2. Der Prüfkörper wird zwischen obere und untere Auflageeinrichtung, die beiden Biegeschneiden und die beiden Biegeauflagen eingebracht und zwar so, daß das Pendel nicht aus seiner Ruhelage gebracht wird. Dazu können beide Biegeauflagen nachjustiert werden.

3. Einstellen des Schleppzeigers in 0-Stellung.
4. Einschalten des motorischen Antriebs, der die Drehscheibe gegen den Uhrzeigersinn in gleichmäßiger Geschwindigkeit dreht und über den Prüfkörper das Pendel anhebt. Stoppen der Zeit bis zum Bruch des Prüfkörpers; Ablesen des maximalen Biegemomentes und des Biegewinkels am Schleppzeiger.

Auswertung des Biegeversuches:

Die Biegefestigkeit σ_{bB} (Biegespannung σ_b beim Bruch des Prüfkörpers) in N/mm^2 wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$\sigma_{bB} = \frac{M}{W}$$

M ist das abgelesene Biegemoment in Nmm; W das Widerstandsmoment in mm^3 . Für Prüfkörper mit rechteckigem Querschnitt ist $W = \frac{b \times h^2}{6}$

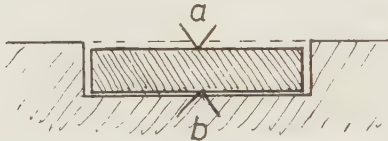
Tabelle 3: Prüfvorschriften und Prüfgeräte

	Biegeversuch	Schlagbiegeversuch
Norm	DIN 53 435	
Prüfgerät	Dynstat-Gerät der Fa. Frank nach DIN 51 222 und 51 230	
Arbeitsvermögen	2 J	0.5 J
= Zusatzmasse		
Prüfgeschwindigkeit	100°/min	
Auftreffgeschwindigkeit des Hammers auf den Prüfkörper		2,2 m/s
abgelesene Werte	Biegemoment Biegewinkel Biegezeit	Schlagarbeit
Abmessung der Prüfkörper	Länge l = (15 + 1) mm Breite b = (10 $\pm$ 0,5) mm Dicke h = 3 mm	

2.5.1.4. Schlag- und Biegeeinrichtung bei Anisotropie der Prüfkörper

Die Art der Prüfkörperherstellung in einer oben offenen Hohlform ließ die Möglichkeit einer Anisotropie (hier Zweiseitigkeit) der Prüfkörper zu. Wie in Abb. 3 dargestellt, besitzt jeder Prüfkörper 2 verschiedene Oberflächen, die durch dessen Lage beim Polymerisieren in der Hohlform bestimmt werden. Durch Vorversuche wurde ermittelt, daß es sowohl beim Schlagbiege- als auch beim Biegeversuch von Bedeutung war, welche Oberfläche der Prüfkörper der Schlag- und Biegerichtung zugewandt war.

Abb. 3a: Die unterschiedlichen Oberflächen der Prüfkörper



a = der Öffnung der Hohlform zugewandte Oberfläche

b = dem Boden der Hohlform zugewandte Oberfläche

Abb. 3b: Lage der Oberflächen zur Schlag- und Biegerichtung



Prüfart A: Die Oberfläche a ist der Schlag- und Biegerichtung zugewandt

Prüfart B: Die Oberfläche b ist der Schlag- und Biegerichtung zugewandt

Bei den Prüfarten A und B waren bei Prüfkörpern gleicher Herstellungsart deutlich verschiedene Prüfwerte festzustellen. Um zu ermitteln, ob die bei den Prüfarten A und B erzielten Prüfwerte von der Art der Hohlform oder der Verarbeitungsart abhingen, wurde bei einem Teil der Prüfkörper der Schlagbiege- und Biegeversuch nach beiden Prüfarten durchgeführt.

2.5.2. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung der Bruchflächen von Prüfkörpern

Einige der Prüfkörper, an denen der Biegeversuch durchgeführt worden war, wurden mit dem Rasterelektronen-Mikroskop untersucht. Von Interesse war hierbei die Beschaffenheit der Bruchflächen im Hinblick auf die Variierung der Polymerisationsbedingungen beim Orthocryl^R und auf die verschiedenen Präparate.

Es wurden 8 Prüfkörper untersucht, die alle nach der Streumethode polymerisiert und dem Biegeversuch unterworfen worden waren.

2.5.2.1. Durchführung der Untersuchungen

Das Rasterelektronen-Mikroskop ist ein "Auflichtelektronen-mikroskop", das nach folgendem Prinzip arbeitet:

Ein fokussierter Elektronenstrahl tastet das Präparat zeilenförmig ab, wobei der vom Präparat zurückgestreute Strahlenanteil nach elektronischer Verstärkung auf einer Bildröhre sichtbar gemacht wird. Der rückgestreute Strahlenanteil besteht aus Sekundär- und Rückstreuелеktronen, wobei die Sekundärelektronen aus sehr oberflächennahen Erregungsbezirken des Präparats stammen. Bei Verwendung der Sekundärelektronen für die Bildinformation entstehen Bilder, die in der Qualität der Kontraste lichtmikroskopischer Bilder sehr nahe kommen.

Zur Abführung des Probenstroms, der aus den vom Präparat zurückgestreuten Elektronen resultiert, muß die Präparatoberfläche optimal leitend sein. Die Kunststoff-Prüfkörper mußten daher durch Aufdampfen einer dünnen Metallschicht leitfähig gemacht werden. Die auf dem Schirm der Bildröhre erscheinenden Bilder wurden photographisch festgehalten.

2.5.3. Bestimmung des Restmonomergehaltes von Prüfkörpern

Seit der Einführung der kaltpolymerisierenden Acrylate in Prothetik und Kieferorthopädie wird die Frage diskutiert, ob diese einen höheren Restmonomeranteil besitzen als die heißpolymerisierenden Acrylate. Als Restmonomer oder Residualmonomer wird derjenige Monomeranteil bezeichnet, der nach der Polymerisation als freies Monomer im Kunststoffgefüge zurückbleibt. Die Höhe des Restmonomergehaltes ist abhängig von der Vollständigkeit der Polymerisation.

2.5.3.1. Höhe des Restmonomergehaltes

Der Gehalt an Restmonomer in Kaltpolymerisaten wird von allen Autoren übereinstimmend als höher angegeben als in Heißpolymerisaten. (BRAUER (1975), DEWEIN (1958), MARXKORS (1962), LEHMANN (1961), HEINDL (1965)). Der Restmonomergehalt wird in Gewichtsprozenten angegeben und schwankt bei Heißpolymerisaten zwischen 0,89 und 1,25%, bei Kaltpolymerisaten zwischen 1,7 und 5%. Der durchwegs höhere Restmonomeranteil bei Kaltpolymerisaten ist dadurch zu erklären, daß der Restmonomeranteil stets um so höher ist, je unvollständiger die Polymerisation des Kunststoffs abläuft. Da bei der Kaltpolymerisation wenig Primärenergie zugeführt und die Polymerisation meist durch Verzögerer verlangsamt oder abgebrochen wird, kann der Polymerisationsgrad der Heißpolymerisate nicht erreicht werden.

2.5.3.2. Gaschromatographische Restmonomerbestimmung

An 28 der Prüfkörper, die dem Schlagbiege- und Biegeversuch unterworfen worden waren, wurde der Restmonomergehalt bestimmt. Dabei waren die verschiedenen Polymeri-

sationsbedingungen und -arten und die verschiedenen Präparate von Interesse. Nach Lagerung der Prüfkörper mind. 30 Tage an Luft wurden die Messungen gaschromatographisch nach einer von SCHEUERMANN (1981) angegebenen Methode vorgenommen.

2.5.4. Verhalten der Werkstoffe bei der Verarbeitung nach der Modelliermethode

Werden Kaltpolymerisate nach der in 2.2.1. beschriebenen Modelliermethode verarbeitet, müssen bei Anwendung von Streu- und Anteigmethode von Pulver, Flüssigkeit und deren Gemisch bestimmte Eigenschaften gefordert werden. Dabei kann die Wichtigkeit dieser Eigenschaften bei Streu- und Anteigmethode durchaus verschieden sein.

Tabelle 4: Modelliermethode. Eigenschaften von Pulver, Flüssigkeit und deren Gemisch, die während der Verarbeitung wichtig sind

	Anteigmethode	Streumethode
Anquellvermögen	+++	++
Anquellzeit	+	+
Durchdringungsvermögen	+	+++
Plastische Phase	+++	+++
Standfestigkeit	+++	+++
Modellierzeit	+++	+++
Modellierbarkeit	+++	+++

Es ergeben sich somit folgende Forderungen an die verschiedenen Präparate:

Plastische Phase, Dauer derselben, Standfestigkeit und Modellierbarkeit müssen bei Anwendung beider Methoden besonders ausgeprägt sein, während ein gutes Anquellvermögen nur für die Anteigmethode und ein gutes Durchdringungsvermögen nur für die Streumethode von besonderer Wichtigkeit sind.

Die Anquellzeit ist generell von geringer Bedeutung. Sind die geforderten Eigenschaften nicht ausgeprägt genug, so treten bei der Verarbeitung Probleme auf, die die Güte des Endproduktes stark beeinträchtigen können.

2.5.4.1. Untersuchungen

Die einzelnen Präparate wurden auf die nach Tabelle 4 zu fordernden Eigenschaften hin überprüft. Während bei Anquell- und Modellierzeit die Zeitdauer festgestellt wurde, konnten Anquellvermögen, Durchdringungsvermögen, plastische Phase und Standfestigkeit nur durch die persönlichen Eindrücke bei der Verarbeitung beschrieben werden. Die Standards für das Urteil "sehr gut" lauteten folgendermaßen:

Anquellvermögen: Bildung eines homogenen Teiges, der leicht Fäden zieht und klebt.

Durchdringungsvermögen: Sofortiges Aufsaugen der Tropfen durch das Pulver; gleichmäßiges Verteilen der Flüssigkeit im Pulver, wobei eventuelle unbenetzte "Pulvernester" im Gemisch noch benetzt werden. Kein Stehenbleiben von Tropfen auf der Oberfläche, kein "Abrollen" und Abfließen der Flüssigkeit von der Pulveroberfläche.

Plastische

Phase: Wird der Teig mit einem Spatel verformt, so darf keine elastische Rückformung eintreten.

Standfestigkeit: Wird mit dem Spatel eine Erhöhung modelliert, so darf diese durch die Schwerkraft nicht verfließen.

Modellierbar-

keit: Langdauernde plastische Phase bei sehr guter Standfestigkeit.

3. Ergebnisse

3.1. Schlagbiegeversuch und Biegeversuch

Im Folgenden werden die bei Schlagbiegeversuch und Biegeversuch ermittelten Werte tabellarisch aufgezeigt. Es handelt sich jeweils um den arithmetischen Mittelwert der an 5 Prüfkörpern ermittelten Werte. A und B sind die Prüffarten nach 2.5.1.4.

3.1.1. Schlagzähigkeit (a_n)

In den folgenden Tabellen sind die Schlagzähigkeit in kJ/m^2 und deren Standard-abweichung S in Prozent des Mittelwertes angegeben.

Tabelle 5: Schlagzähigkeit von Orthocryl^R; Polymerisation in verschiedenen Hohlformen nach Herstellerempfehlung und im Tiefziehgerät

Art der Hohlform	Prüfart	Anteigmethode		Streumethode	
		a _n	S	a _n	S
Metall	A	5,2	9,7	4,8	12,4
	B	5,2	7,1	4,6	7,2

Gips unisoliert	A	5,7	12,7	6,0	9,4
	B	5,2	11,1	6,0	6,2

Gips isoliert	A	5,9	3,0	5,1	2,6
	B	5,8	9,7	4,1	6,2

Polymerisation im Tiefziehgerät nach 2.4.2.					
Gips folienisoliert	A	4,3	8,5	3,3	11,5
	B	4,4	8,5	4,7	3,8

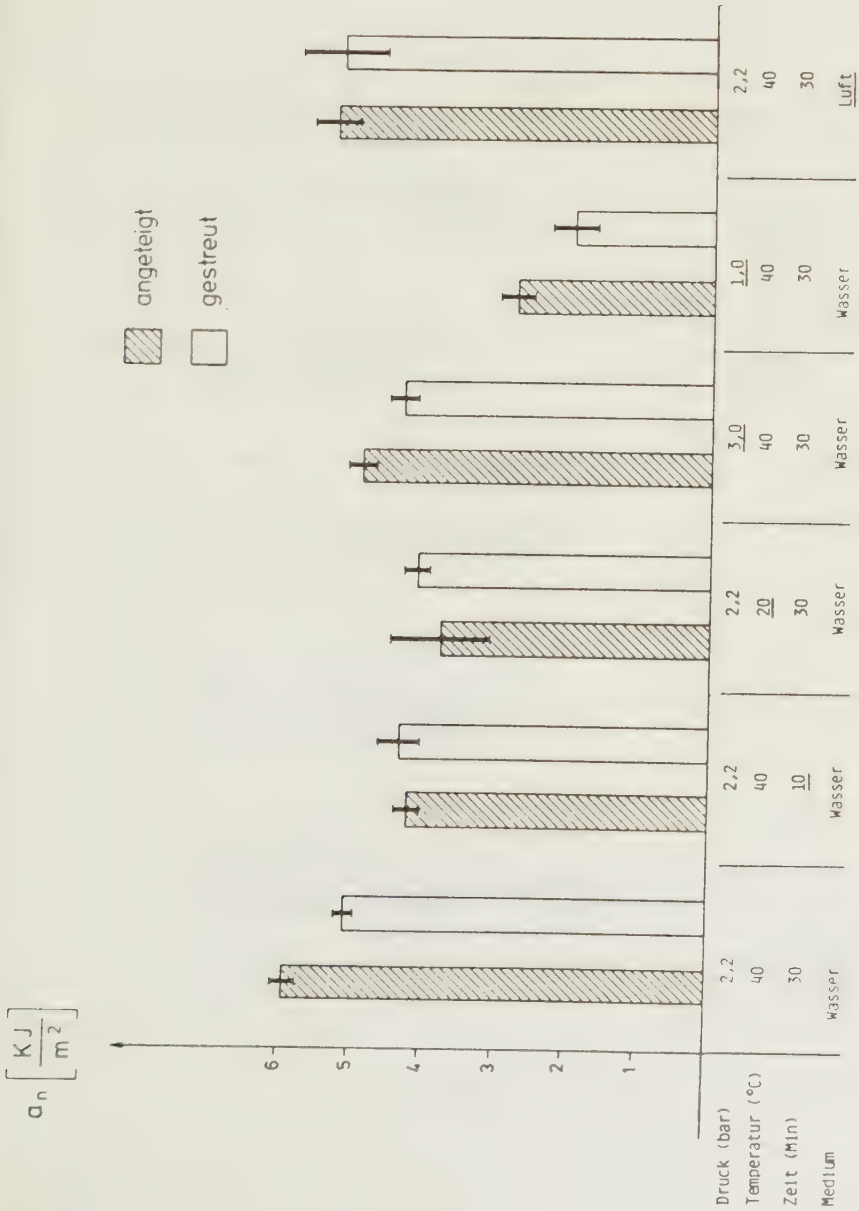
Tabelle 6: Schlagzähigkeit von Orthocryl^R; Polymerisation bei variierten Bedingungen

Polymerisationsbedingungen				Anteigmethode		Streumethode	
Druck bar	Temperatur °C	Zeit min	Medium	a _n	S	a _n	S
2,2	40	30	Wasser	5,9	3,0	5,1	2,6
<u>1,0</u>	40	30	Wasser	2,7	9,0	2,0	16,7
<u>3,0</u>	40	30	Wasser	5,0	4,0	4,3	4,9
2,2	<u>20</u>	30	Wasser	3,7	18,6	4,1	3,7
2,2	40	<u>10</u>	Wasser	4,2	3,6	4,3	7,4
2,2	40	30	<u>Luft</u>	5,3	6,4	5,2	11,6

Tabelle 7: Schlagzähigkeit der verschiedenen Präparate; Polymerisation jeweils nach Herstellerempfehlung

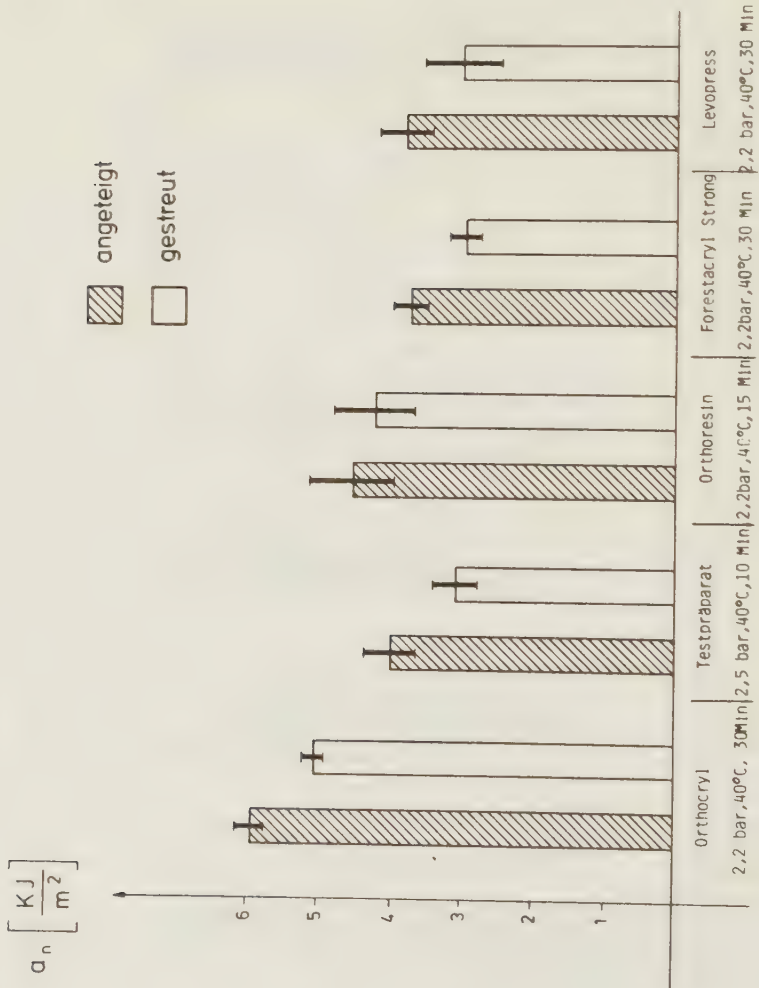
Präparat	Anteigmethode		Streumethode	
	a _n	S	a _n	S
Orthocryl ^R	5,9	3,0	5,1	2,6
Orthoresin ^R	4,6	12,6	4,3	13,1
Forestacryl Strong ^R	3,8	6,0	3,0	5,0
Levopress ^R	3,8	10,2	3,0	17,7
Testpräparat	4,0	9,4	3,1	10,6

Abb. 5: Schlagzähigkeit von Orthocryl^R; Polymerisation bei variierten Bedingungen



Die variierten Größen sind unterstrichen

Abb. 6: Schlagzähigkeit der verschiedenen Präparate; Polymerisation jeweils nach Herstellerempfehlung



3.1.2. Biegefestigkeit (σ_{bB}), Biegewinkel (α_B) und Biegezeit (t_B)

In den folgenden Tabellen sind die Biegefestigkeit in N/mm², deren Standardabweichung S in Prozent des Mittelwertes der Biegewinkel in Grad und die Biegezeit in Sekunden angegeben.

Tabelle 8: Biegefestigkeit von Orthocryl^R; Polymerisation in verschiedenen Hohlformen nach Herstellerempfehlung und im Tiefziehgerät

Art der Hohlform	Prüfart	Anteigmethode				Streumethode			
		σ_{bB}	S	α_B	t_B	σ_{bB}	S	α_B	t_B
Metall	A	1,01	1,8	20	39	0,90	5,7	14	32
	B	1,05	1,3	25	42	1,05	1,5	22	42

Gips unisoliert	A	1,08	2,5	1,8	41	1,05	3,6	17	39
	B	1,08	1,7	20	43	0,96	10,3	14	36

Gips isoliert	A	1,10	3,5	20	42	1,09	1,8	18	42
	B	1,00	7,0	16	38	1,05	4,5	16	41

Polymerisation im Tiefziehgerät nach 2.4.2.

Gips folienisoliert	A	0,84	3,9	13	29	0,79	7,3	11	27
	B	0,93	0,4	31	42	0,94	0,8	24	37

Tabelle 9: Biegefestigkeit von Orthocryl; Polymerisation bei variierten Bedingungen

Polymerisationsbedingungen				Anteilmethode				Streumethode			
Druck	Tempera-	Zeit	Medium	$\tilde{\sigma}_{bB}$	s	α_B	t_B	$\tilde{\sigma}_{bB}$	s	α_B	t_B
bar	tur °C	min									
2,2	40	30	Wasser	1,10	3,1	20	41	1,10	1,8	18	42
<u>1,0</u>	40	30	Wasser	0,83	14,1	12	31	0,59	6,6	8	20
<u>3,0</u>	40	30	Wasser	1,06	4,5	18	41	1,02	2,2	18	40
2,2	<u>20</u>	30	Wasser	1,02	8,9	15	37	0,92	5,0	13	33
2,2	40	<u>10</u>	Wasser	1,06	0,3	20	42	1,00	3,5	16	38
2,2	40	30	<u>Luft</u>	1,10	5,0	17	43	1,06	5,7	18	40

Tabelle 10: Biegefestigkeit der verschiedenen Präparate; Polymerisation nach Herstellerempfehlung

Präparat	Anteilmethode				Streumethode			
	$\tilde{\sigma}_{bB}$	s	α_B	t_B	$\tilde{\sigma}_{bB}$	s	α_B	t_B
Orthocryl ^R	1,10	3,1	20	41	1,10	1,8	18	42
Orthoresin ^R	0,84	1,9	18	33	0,79	5,6	16	30
Forestacryl Strong ^R	0,86	5,6	14	31	0,74	6,4	10	24
Levopress	0,95	4,1	11	32	0,83	10,6	8	26
Testpräparat	1,12	0,9	20	45	1,12	4,0	14	40

Abb. 7: Biegefestigkeit von Orthocryl^R; Polymerisation in verschiedenen Hohlformen nach Herstellerempfehlung und im Tiefziehgerät

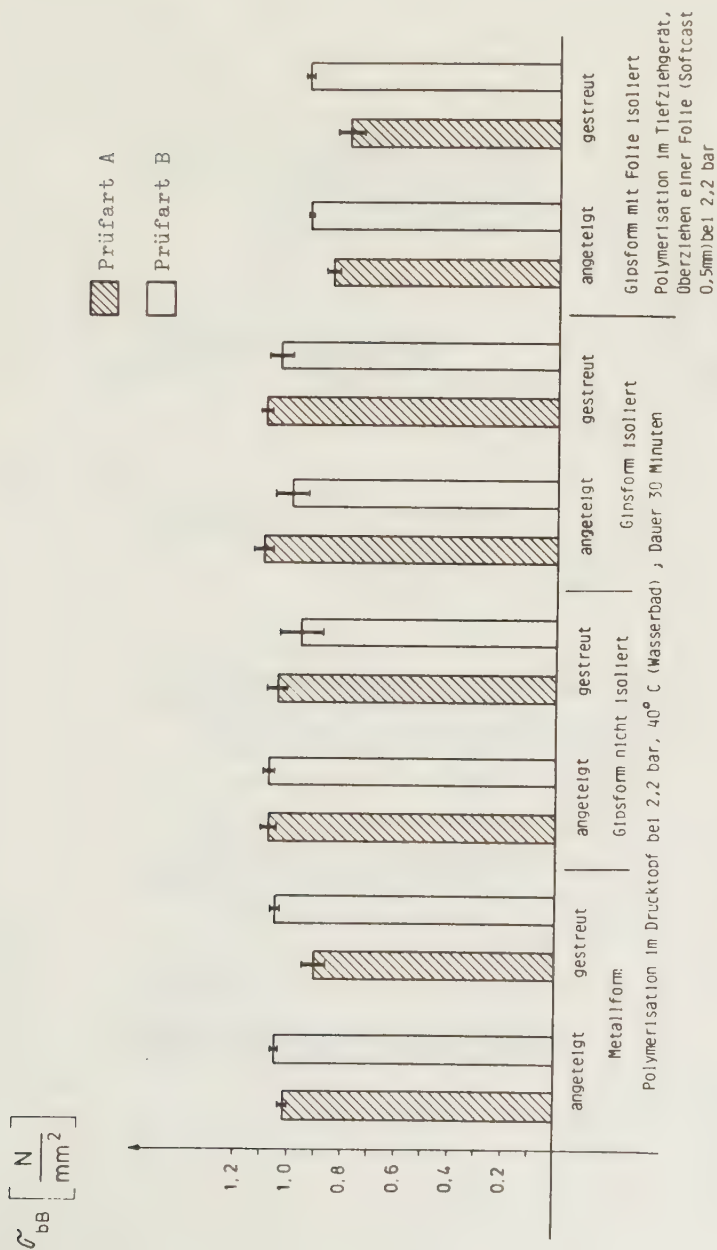
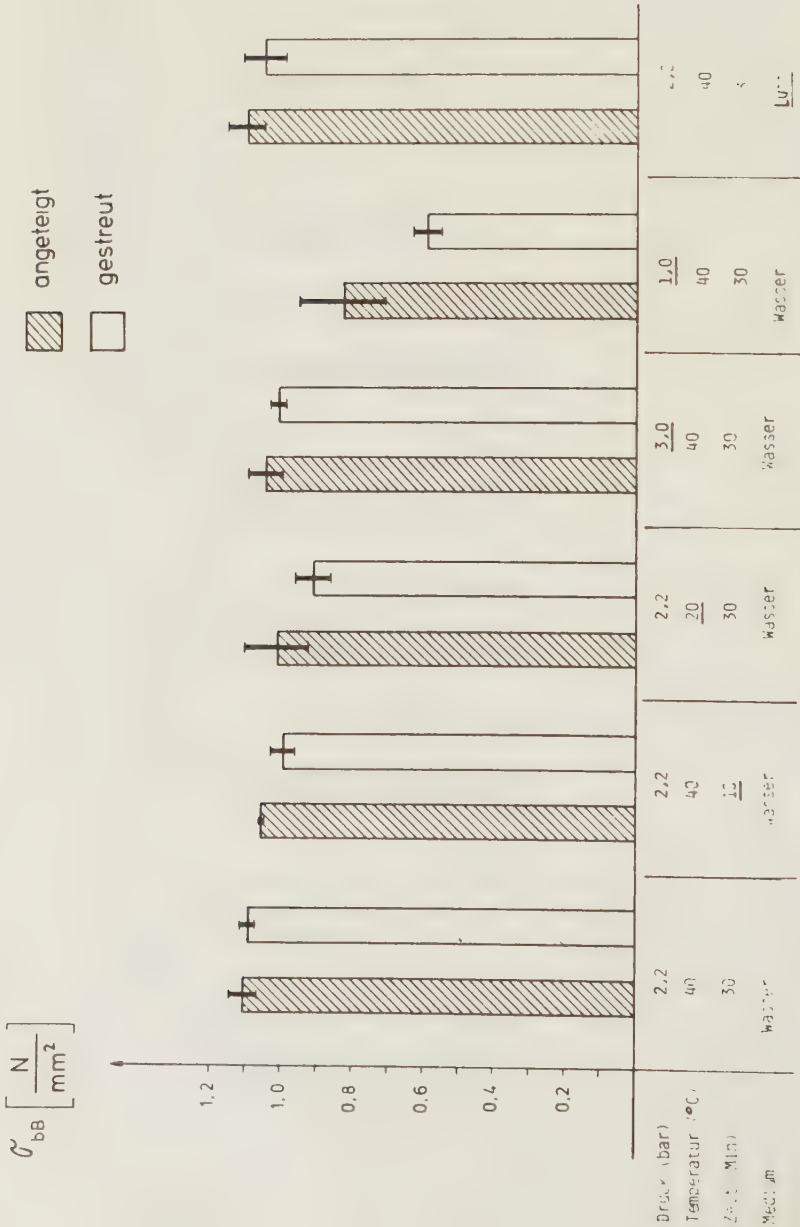
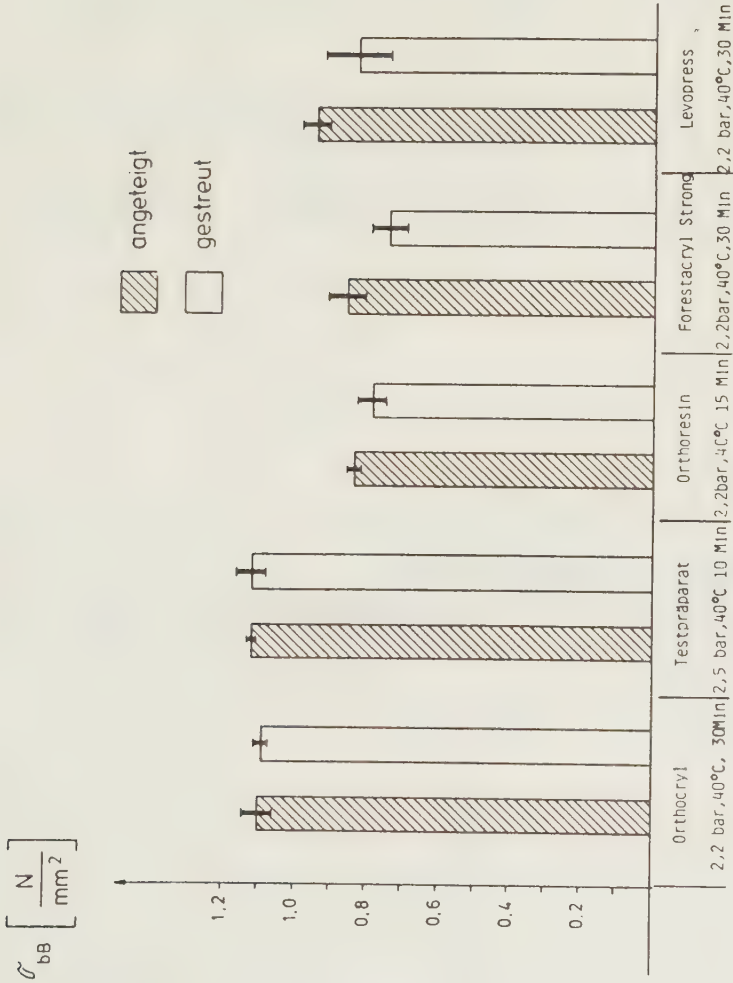


Abb. 8: Biegefestigkeit von Orthocryl; Polymerisation bei
variieren Bedingungen



Die variierten Größen sind unterstrichen

Abb. 9: Biegefestigkeit der verschiedenen Präparate; Polymerisation nach Herstellerempfehlung



3.1.3. Restmonomergehalt

Der Gehalt an freiem Restmonomer wird in den folgenden Tabellen in Gewichtsprozenten angegeben. An jedem der Prüfkörper wurde jeweils eine Bestimmung vorgenommen.

Tabelle 11: Restmonomergehalt von Orthocryl^R; Polymerisation in verschiedenen Hohlformen nach Herstellerempfehlung und im Tiefziehgerät

Art der Hohlform	Anteigmethode	Streumethode
	RM	RM
Metall	4,70	3,79
Gips unisoliert	4,19	3,39
Gips isoliert	4,47	3,46

Polymerisation im Tiefziehgerät nach 2.4.2.

Gips, folienisoliert	4,50	3,90
----------------------	------	------

Tabelle 12: Restmonomergehalt von Orthocryl^R; Polymerisation bei
variieren Bedingungen

Polymerisationsbedingungen				Anteigmethode	Streumethode
Druck	Temperatur	Zeit	Medium	RM	RM
bar	°C	min			
2,2	40	30	Wasser	4,47	3,46
<u>1,0</u>	40	30	Wasser	4,29	3,70
<u>3,0</u>	40	30	Wasser	4,40	3,34
2,2	<u>20</u>	30	Wasser	2,66	2,84
2,2	40	<u>10</u>	Wasser	4,32	3,68
2,2	40	30	<u>Luft</u>	3,79	3,40

Tabelle 13: Restmonomergehalt der verschiedenen Präparate; Polymerisation
jeweils nach Herstellerempfehlung

Präparat	Anteigmethode	Streumethode
	RM	RM
Orthocryl ^R	4,47	3,46
Orthoresin ^R	3,44	1,85
Forestacryl Strong ^R	5,48	3,47
Levopress ^R	1,52	0,50
Testpräparat	3,64	2,37

3.1.4. Relative Werte

Die relativen Werte sind in den folgenden Tabellen in Prozenten der Bezugswerte angegeben

Tabelle 14: Orthocryl^R, in verschiedenen Hohlformen nach Herstellerempfehlung und im Tiefziehgerät polymerisiert. Relativierung der Werte in Bezug auf die isolierte Gipshohlform

Art der Hohlform	Anteigmethode			Streumethode		
	a_n	σ_{bB}	RM	a_n	σ_{bB}	RM
Metall	88	92	105	95	82	109
Gips unisoliert	79	98	94	118	96	98
Gips isoliert	100	100	100	100	100	100

Polymerisation im Tiefziehgerät nach 2.4.2.

Gips folienisoliert	72	76	100	65	72	113
---------------------	----	----	-----	----	----	-----

Tabelle 15: Orthocryl^R, bei variierten Bedingungen polymerisiert.

Relativierung der Werte in Bezug auf die Herstellerempfehlung.

Polymerisationsbedingungen				Anteilmethode			Streumethode		
Druck bar	Temperatur °C	Zeit min	Medium	a _n	σ _{bB}	RM	a _n	σ _{bB}	RM
2,2	40	30	Wasser	100	100	100	100	100	100
<u>1,0</u>	40	30	Wasser	45	75	96	39	54	106
<u>3,0</u>	40	30	Wasser	85	96	98	84	63	96
2,2	<u>20</u>	30	Wasser	63	93	59	80	84	82
2,2	40	<u>10</u>	Wasser	71	96	97	84	91	106
2,2	40	30	<u>Luft</u>	90	100	85	102	71	98

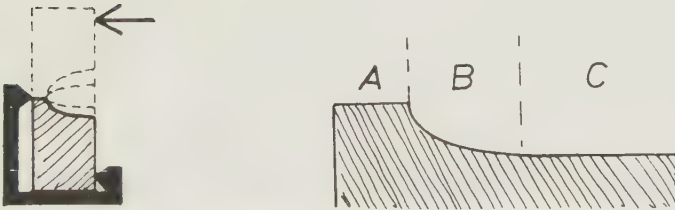
Tabelle 16: Die verschiedenen Präparate, jeweils nach Herstellerempfehlung polymerisiert. Relativierung der Werte in Bezug auf Orthocryl^R

Präparat	Anteilmethode			Streumethode		
	a _n	ζ_{bB}	RM	a _n	ζ_{bB}	RM
Orthocryl ^R	100	100	100	100	100	100
Orthoresin ^R	78	76	77	84	72	53
Forestacryl Strong ^R	64	78	122	59	67	100
Levopress ^R	64	86	34	59	75	14
Testpräparat	68	102	81	61	102	68

3.2. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen

Die untersuchten Bruchflächen der Prüfkörper wiesen eine im Prinzip einheitliche Konturierung auf:

Abb. 10: Kontur der Bruchflächen mit der Einteilung in 3 verschiedene Zonen. Die gestrichelten Linien stellen den möglichen Verlauf der Bruchkonturen dar.



Die Zone A befindet sich in dem Bereich, der bei einer Durchbiegung einer Druckbelastung ausgesetzt ist; die Zone B stellt den Übergangsbereich von der Druck- zur Zugbelastung dar; in Zone C wirken überwiegend Zugkräfte. Die Kontur der Bruchflächen folgt offenbar ab der Grenze zwischen den Zonen A und B den bei der Durchbiegung auftretenden Spannungslinien.

Bei der nachfolgenden Beschreibung der im Rasterelektronenmikroskop erzeugten Bilder soll die Lage der abgebildeten Bereiche nach den Zonen A, B und C berücksichtigt werden. Alle untersuchten Prüfkörper wurden in isolierten Gips-hohlformen nach dem Streuverfahren hergestellt und dem Biegeversuch unterworfen.

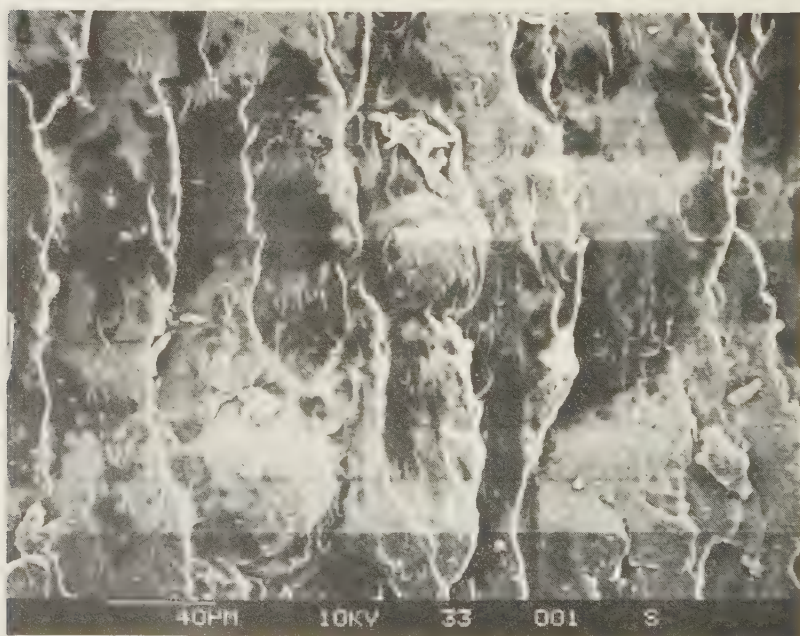
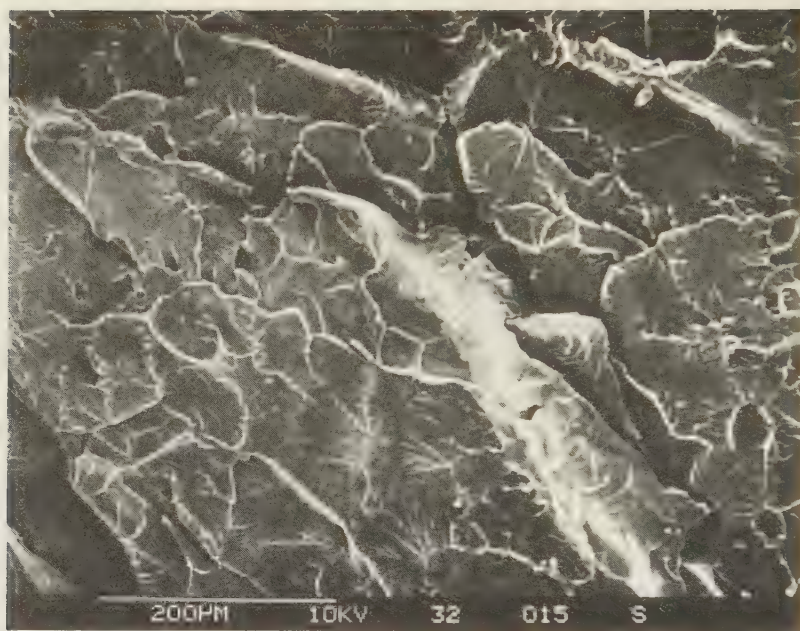


Abb. 11

Orthocryl^R, bei 2,2 bar 30 Min. im Wasserbad von 40° C polymerisiert.

Bild 1: Schollige Zerreißen im Bereich der Zone C.

Die wirkenden Zugkräfte reißen das Kunststoffgefüge in unregelmäßiger Weise auseinander. Es sind keine systematischen Rißlinien erkennbar. Das Kunststoffgefüge wirkt homogen; die Schollengröße liegt nicht unter 50 μ .

Bild 2: Gerichtete Rißlinien im Bereich der Zone A.

Die primäre Kompression und anschließende Zerreißen des Gefüges erzeugt Rißlinien, die senkrecht zum Rand der Probe einheitlich ausgerichtet sind. Die dazwischen liegenden Bereiche besitzen eine relativ glatte Oberfläche. Es sind außerdem 2 halbkugelartige Ausreißungen zu sehen, welche ihre Erklärung darin finden können, daß einzelne Polymerkügelchen nicht ausreichend von der Monomerflüssigkeit benetzt wurden, und deshalb Schwachstellen im Kunststoffgefüge rund um die Kügelchen entstanden. Die Größe der Kügelchen liegt bei 40 μ .

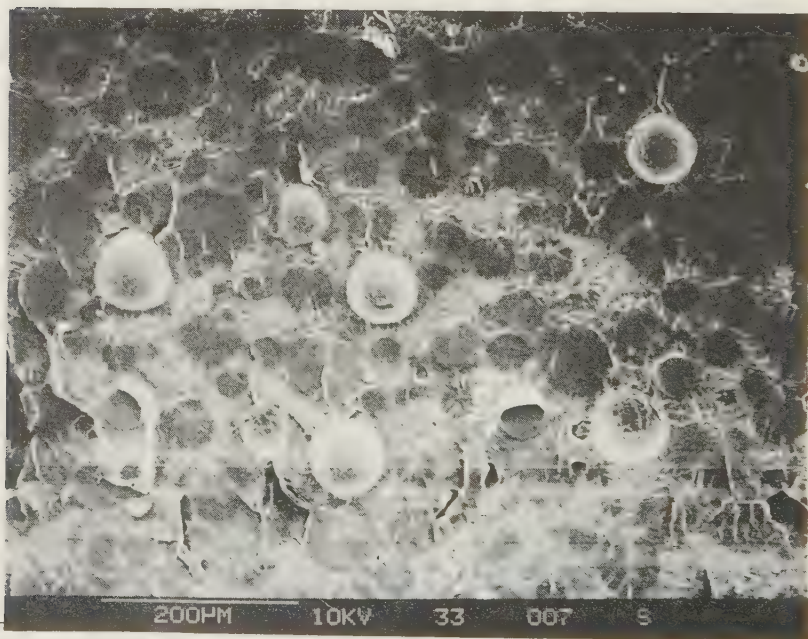
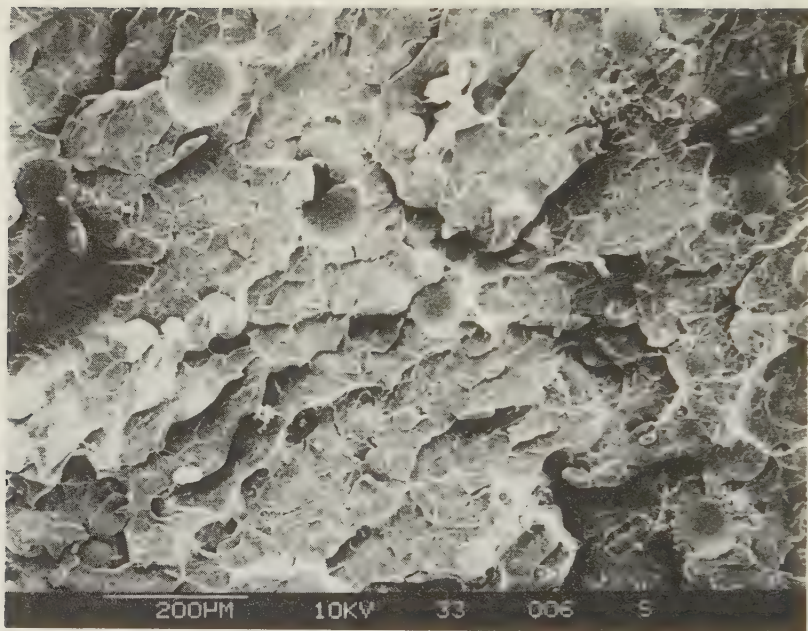


Abb. 12: Orthocryl^R bei 2,2 bar 30 Min. im Wasserbad von 20° C polymerisiert.

Bild 1: Schollige, unstrukturierte Zerreißen im Bereich der Zone C.

Schollengröße nicht unter 50µ; die Schollen sind jedoch von fein verteilten, ungerichteten Rißlinien durchzogen.

Unregelmäßig verteilt sind Polymerkügelchen zu sehen, die hier eine Größe von fast 100µ erreichen. Die Kugeloberflächen sind von samtartiger Beschaffenheit, die Kugelform ist voll erhalten. Eine Verbindung mit dem umliegenden Gefüge scheint kaum vorhanden.

Bild 2: Glatte Bruchflächen in Zone B, Übergang zur Zone C am unteren Bildrand.

Die dunklen, kreisrunden Scheibchen stellen glatt durchgerissene Polymerkügelchen dar; die dazwischen liegenden, etwas rauhen weißen Bezirke bestehen aus polymerisiertem Monomer. Das Gefüge der Polymerkügelchen scheint also homogener zu sein als das Gefüge des polymerisierten Monomers. Unregelmäßig eingelagert Polymerkügelchen, die eine schlechte Verbindung zum umgebenden Gefüge besitzen.

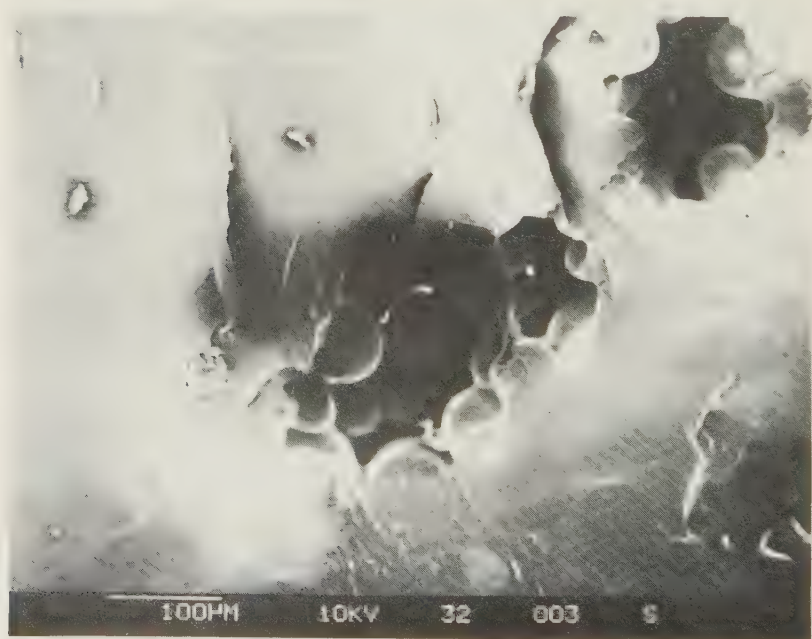
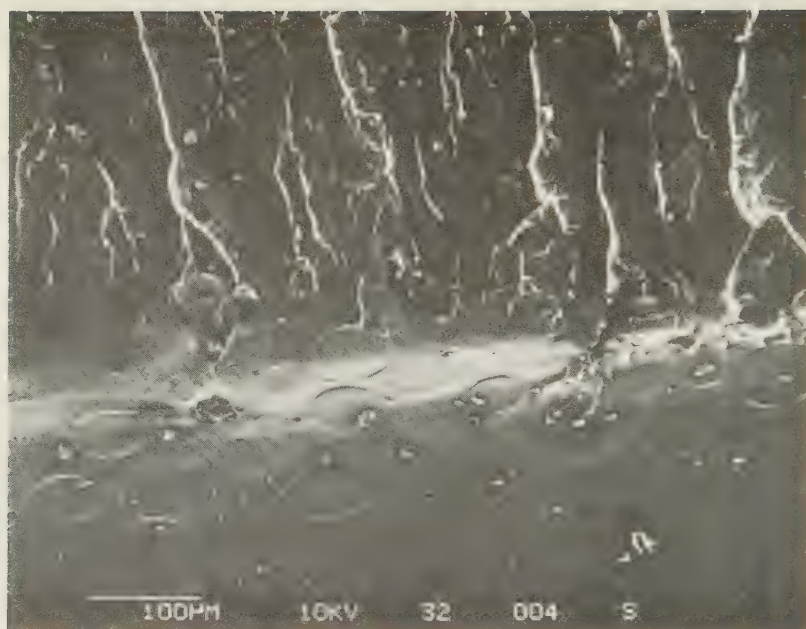


Abb. 13: Orthocryl^R, bei 1,0 bar 30 Min. im Wasserbad von 40° C polymerisiert.

Bild 1: Darstellung der Bruchkante zwischen Zone A (oben) und Zone B.

Senkrecht zum Prüfkörperperrand gerichtete Rißlinien in Zone A, glatte Rißfläche mit glatt durchgerissenen Polymerkügelchen in Zone B. Unregelmäßig eingelagerte Kavernen in der Größe von 20 bis 50µ.

Bild 2: Kavernenbildung in Zone B an anderer Stelle.

Die Wände der Kavernen von 100 bis 250µ Größe bestehen aus Polymerkügelchen von der Größe 40 bis 70µ. Die Umgebung besteht aus glatter Rißfläche, die von gut durchgerissenen Polymerkügelchen durchsetzt ist. Die Kavernenbildung dieser beträchtlichen Größe ist als Folge des fehlenden Überdrucks bei der Polymerisation zu verstehen.

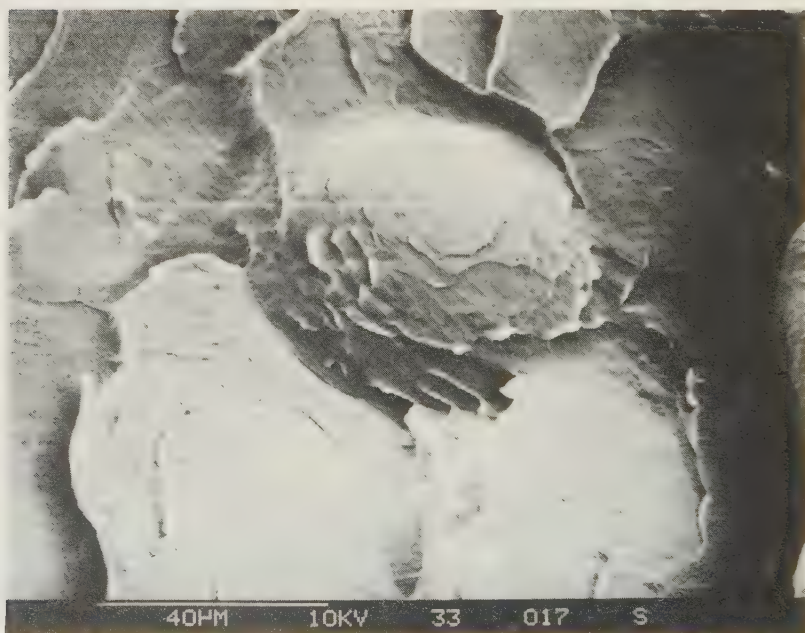
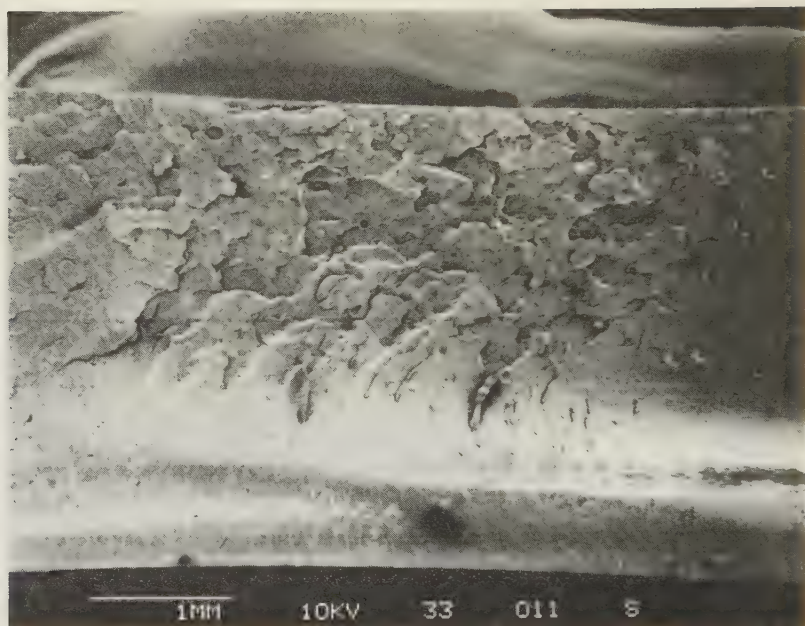


Abb. 14: Orthocryl^R, bei 2,2 bar 30 Min. in Luft von 40° C polymerisiert.

Bild 1: Übersichtsaufnahme der gesamten Bruchfläche, mit dem Rand des Prüfkörpers an der linken Bildseite.

Große Ausdehnung der Zone C mit großscholligen Ausreißungen und schlecht benetzten Polymerkügelchen. Die Zone B ist schmal ausgebildet; die Bruchfläche ist glatt und die hier dunkel erscheinenden Polymerkügelchen sind glatt durchgerissen.

Senkrechte Rißlinien und schlecht benetzte Polymerkügelchen in Zone A.

Bild 2: Vergrößerung aus Bild 1. Übergang von Zone B zu Zone C.

Schollige Ausreißungen; in Bildmitte eine Polymerkugel mit verminderter Verbindung zum umgebenden Gefüge. Die Halbkugelform ist durch Ausreißungen gestört; dies läßt auf eine bessere Verbindung schließen als bei den in Bild 1 sichtbaren, exakt kugelförmigen Gebilden mit glatter Oberfläche.

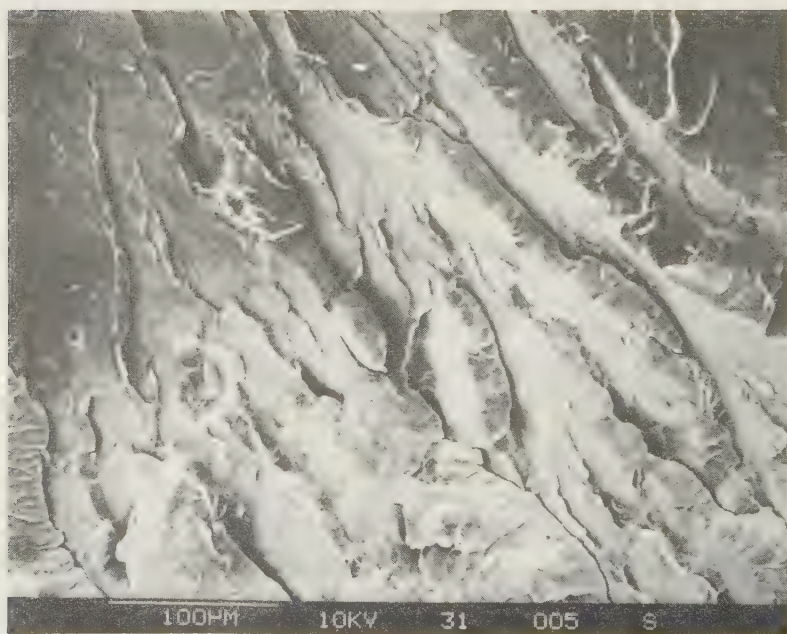
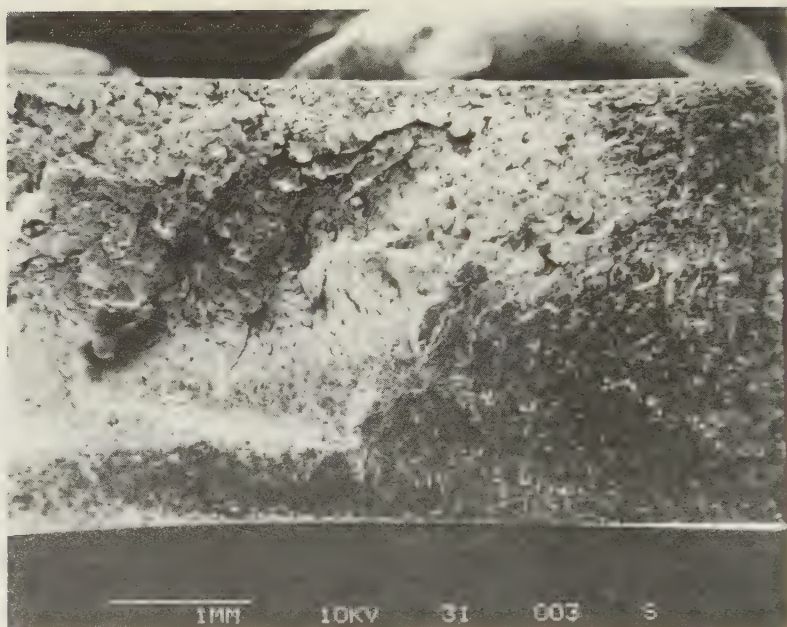


Abb. 15: Testpräparat, bei 2,5 bar 10 Min. im 40° C warmen Wasser polymerisiert.

Bild 1: Übersichtsaufnahme, ausgeprägte Zone C mit besonders grobscholligen Ausreißungen.

Gerichtete Rißlinien in Zone A. Die Zone B ist rauh. Über alle 3 Zonen verteilt sind Polymerkügelchen mit offensichtlich geringer Bindung zum umgebenden Gefüge zu sehen.

Bild 2: Vergrößerung aus Bild 1.

Ausschnitt aus der Zone C; schollenförmige Ausrisse, Übergang zur Zone B.

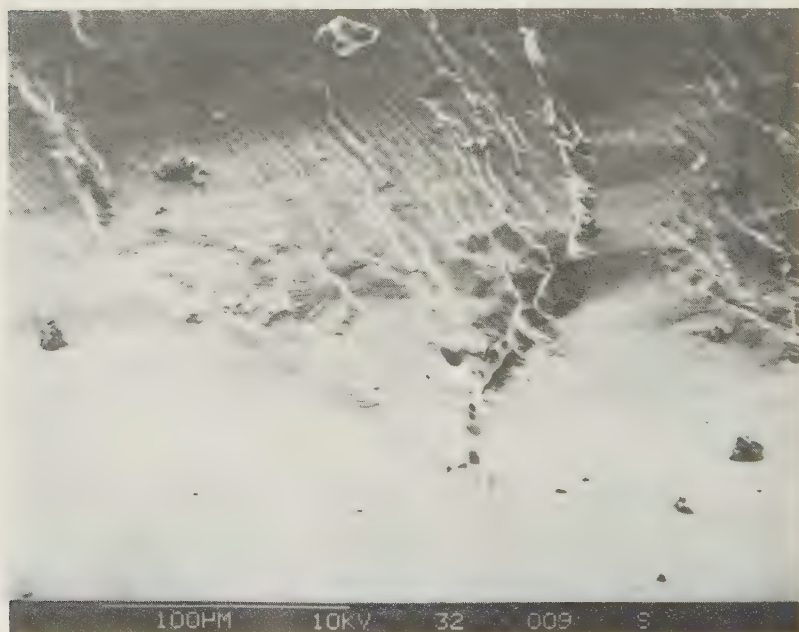
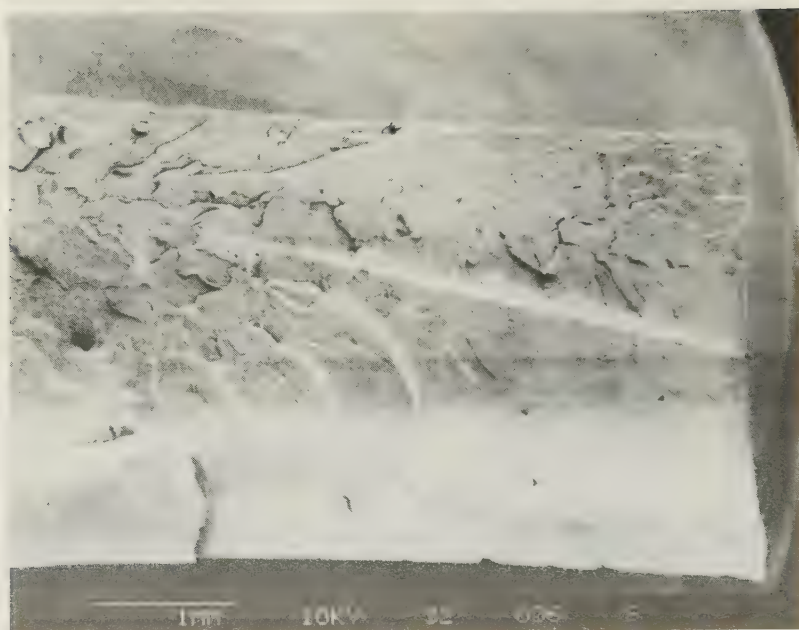


Abb. 16: Orthoresin^R, bei 2,2 bar 15 Min. im Wasserbad von 40° C polymerisiert.

Bild 1: Übersichtsaufnahme; nur am linken Bildrand ist die 3-Zoneneinteilung feststellbar, rechts ist die Bruchkante nach oben verlagert.

Homogen wirkendes Gefüge; keine Polymerkügelchen ohne Verbindung sichtbar. Ausreißungen in Zone C grobschollig; senkrechte Rißlinien in Zone A.

Bild 2: Übergang von Zone B (unten) zu Zone C.

In Zone B glatte Oberfläche mit glatt durchgerissenen Polymerkügelchen und Übergang zu Ausreißungen in der oberen Bildhälfte.

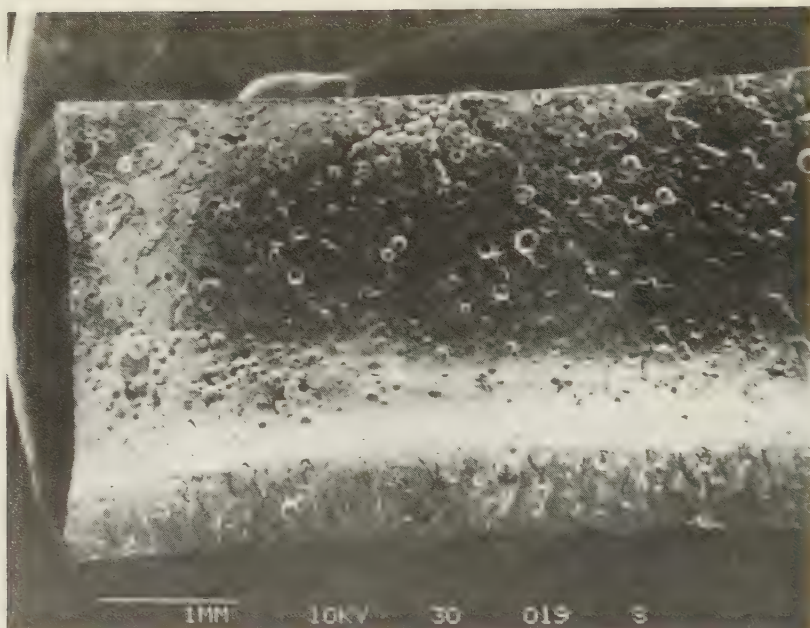


Abb. 17: Forestacryl Strong^R, bei 2,5 bar 15 Min. im Wasserbad von 40° C polymerisiert.

Bild 1: Übersichtsaufnahme mit ausgeprägt sichtbarer Zoneneinteilung

In Zone C feinschollige Ausreißungen; die in Zone A sichtbaren Rißkanten und -spalten verlaufen senkrecht. Über die Zonen A und C verteilt viele Polymerkügelchen mit wenig Bindung zur Umgebung. Kugelgröße bis 0,15 mm.

Bild 2: Ausschnittsvergrößerung aus Bild 1.

Bereich der Zone A; am oberen Bildrand Übergang zur Zone B. In der Bildmitte oben ein Polymerkügelchen der Größe 100µ, dessen Oberfläche glatt und fast ohne Ausreißungen ist. Das gleiche ist von den umgebenden halbkugelartigen Vertiefungen, welche die Negativform von Polymerkügelchen darstellen, zu sagen. Die Kügelchen besitzen offensichtlich eine sehr geringe Verbindung zum umgebenden Gefüge.

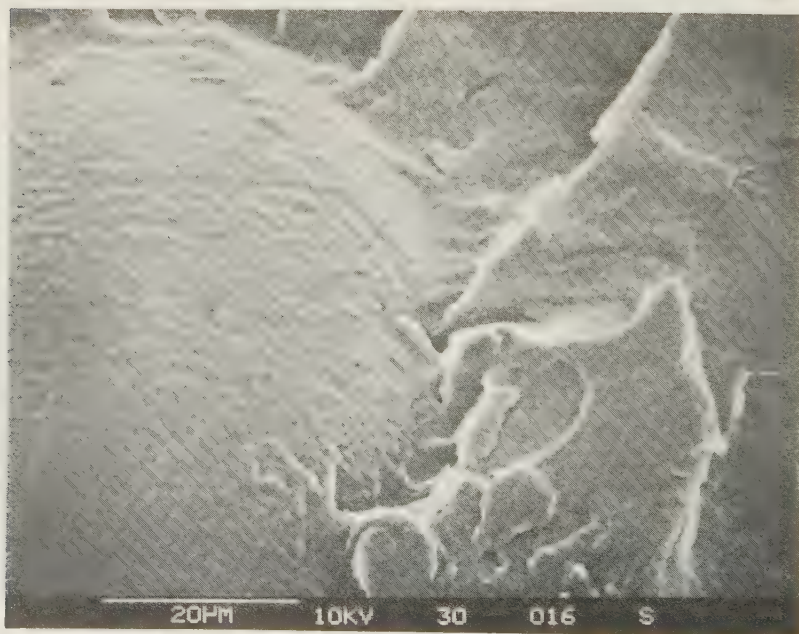
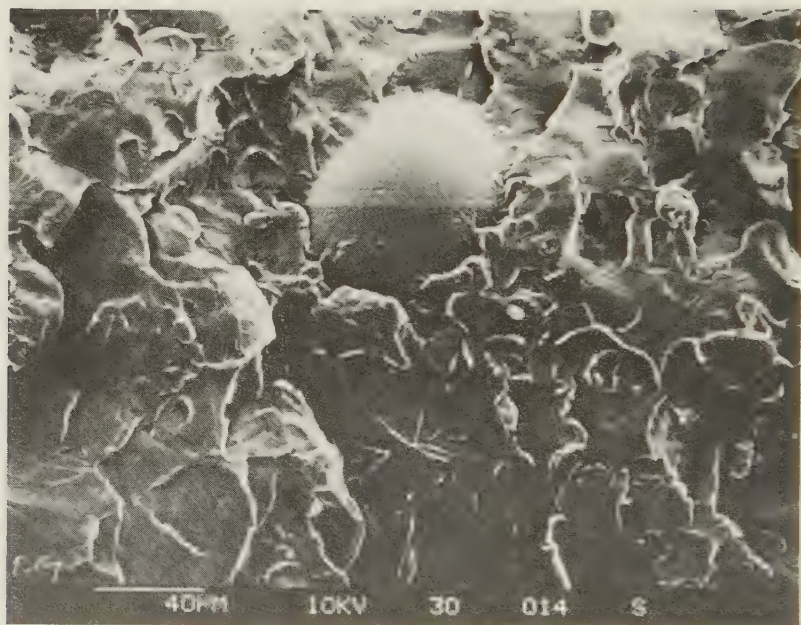


Abb. 18: Levopress^R, bei 2,2 bar 30 Min. im Wasserbad von 40° C polymerisiert.

Bild 1: Polymerkügelchen in Zone C von ungefähr 60µ Durchmesser mit samtartiger Oberfläche ohne größere Ausrisse oder Rißlinien. Die Umgebung besteht aus kleinscholligen Ausrissen und wirkt homogen.

Bild 2: Ausschnittvergrößerung aus Bild 1.

Die Oberfläche des sichtbaren Kügelchens zeigt am Rand feine Rißlinien; der Übergang zum umgebenden Gefüge ist nicht exakt auszumachen. Es besteht offensichtlich eine relativ gute Verbindung vom Kügelchen zum umgebenden Gefüge.

3.3. Verhalten der Werkstoffe während der Verarbeitung

Tabelle 17: Verhalten der Werkstoffe bei der Verarbeitung nach der Modelliermethode

Es bedeuten ++ = sehr gut, + = gut, + - = befriedigend,
- = nicht befriedigend, -- = schlecht

	Orthocryl ^R	Forestacryl Strong ^R	Orthoresin ^R	Levopress ^R
Anquellvermögen	++	+	--	+ -
Durchdringungsvermögen	++	+	++	+ -
Plastische Phase	++	+ -	--	+
Standfestigkeit	+	++	+ -	++
Modellierbarkeit	++	+	+ -	+

4. Diskussion der Ergebnisse

Die in der Kieferorthopädie übliche Verarbeitung der Kaltpolymerisate nach der Modelliermethode erzeugt eine Anisotropie im Sinne einer Zweiseitigkeit der dem Schlagbiege- und Biegeversuch unterworfenen Prüfkörper. Die Schlagzähigkeit von Orthocryl, das in Hohlformen hergestellt wurde, die nach einer Seite offen waren, war bei Prüffart A um 2 bis 24% größer als bei Prüffart B. Die Werte der Biegefestigkeit verhielten sich dagegen etwas anders. Bei den in der Metallhohlform hergestellten Prüfkörper war die Biegefestigkeit bei Prüffart A um 4 - 15% kleiner als bei Prüffart B; während sie bei den in Gipshohlformen hergestellten Prüfkörpern bei Prüffart A um 10% größer oder gleich waren. Es waren also bei den in Gipshohlformen hergestellten Prüfkörpern jeweils die Schlagzähigkeit und die Biegefestigkeit bei Prüffart A größer als bei Prüffart B.

Hieraus kann geschlossen werden, daß diejenigen Kunststoffanteile, die bei der Polymerisation mit dem Wasserbad in direktem Kontakt standen, den Biegekräften, die an dieser Stelle beim Schlagbiege- und Biegeversuch als Zugkräfte wirksam werden, einen größeren Widerstand bieten als jene, die mit dem Boden der Gipshohlform in Kontakt waren.

Eine Erklärung hierfür kann darin gesehen werden, daß an der in Wasserkontakt stehenden Oberfläche der Prüfkörper die beim Polymerisationsvorgang auftretenden Temperaturspitzen besser abgeleitet werden, als an der in Gipskontakt stehenden Oberläche.

Diese Erklärung wird durch die Tatsache untermauert, daß sich die Werte der Biegefestigkeit bei der Metallhohlform umgekehrt verhalten. Hier wird die Wärme offenbar an der Prüfkörperoberfläche, die dem Messingboden zugewandt ist, besser abgeleitet als durch das Wasserbad, wodurch diese eine höhere Güte erreicht.

Bei den im Tiefziehgerät polymerisierten Prüfkörpern war

die Schlagzähigkeit bei Prüfmart A um 2 - 30% kleiner als bei Prüfmart B; die Biegefestigkeit war um 10 - 16% kleiner. Offenbar wird beim Überziehen der Folie eine zu hohe Temperatur erreicht, was die Qualität des Kunststoffes an dieser Stelle wesentlich beeinträchtigt.

Werden die bei Prüfmart A erreichten Werte von Schlagzähigkeit und Biegefestigkeit auf die Art der Hohlform hin betrachtet, so muß zwischen der Herstellung der Prüfkörper nach Anteig- und Streumethode unterschieden werden. Die Biegefestigkeit ist bei der Herstellung nach der Streumethode stets kleiner als bei der Herstellung nach der Anteigmethode (zwischen 3 und 10%), während die Schlagzähigkeit bei der Mehrzahl der Hohlformen bei Anwendung der Streumethode zwischen 8 und 30% niedrigere Werte, jedoch bei der nicht isolierten Gipshohlform einen um 5% höheren Wert als bei der Anteigmethode aufweist.

Daß der nach der Streumethode hergestellte Kunststoff eine geringere mechanische Qualität besitzt als der nach der Anteigmethode hergestellte, entspricht durchaus den Erwartungen. Offensichtlich wirkt sich die bei der Streumethode auftretende Inhomogenität des Kunststoffgemisches, die von einer mangelnden Benetzung des Polymerpulvers durch die Monomerflüssigkeit und von Lufteinschlüssen hervorgerufen wird, negativ auf das Endprodukt aus.

Es ist außerdem möglich, daß die schichtenweise zeitlich verschobene Polymerisation die Festigkeit der Struktur negativ beeinflußt.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse in Hinblick auf die verschiedenen Hohlformen muß von der bei der Herstellung von kieferorthopädischen Apparaturen üblichen, alginatisolierten Gipshohlform ausgegangen werden. Bei Anwendung der Anteigmethode sind hier die Werte von Schlagzähigkeit und Biegefestigkeit um 2 - 28% höher als bei den anderen Hohlform-

arten. Wird die Streumethode angewandt, so ist die Biegefestigkeit bei isolierter Gips-hohlform um 4 - 18% größer, während die Schlagzähigkeit hier einen um 18% geringeren Wert als bei der unisolierten Hohlform aufweist, der jedoch höher liegt als bei den anderen Hohlformarten.

Bei der Polymerisation von Orthocryl^R unter verschiedenen Bedingungen ergaben sich sehr unterschiedliche Werte. So erreichte die Schlagzähigkeit bei einem Polymerisationsdruck von 1,0 bar nur 45% des Wertes, der bei 2,2 bar nach Herstellerempfehlung ermittelt wurde. Die Biegefestigkeit erreichte sogar nur 39% des Ausgangswertes.

Fast alle bei veränderten Bedingungen ermittelten Werte von Schlagzähigkeit und Biegefestigkeit erreichten die Höhe der Ausgangswerte nicht; lediglich bei der Polymerisation an 40° C warmer Luft war die Biegefestigkeit bei der Anteigmethode gleich und die Schlagzähigkeit bei der Streumethode geringfügig höher als die Ausgangswerte.

Die mechanischen Eigenschaften von Orthocryl^R waren also bei der Polymerisation nach Herstellerempfehlung am besten. Die zweitbesten Ergebnisse wurden bei der Polymerisation an 40° C warmer Luft erzielt. Bei Anwendung der Anteigmethode wurde stets eine höhere Biegefestigkeit ermittelt als bei Anwendung der Streumethode. Diese Tendenz war auch bei der Schlagzähigkeit zu beobachten; jedoch wurden hier bei der Änderung von Zeit und Temperatur höhere Werte bei der Streumethode festgestellt.

Die extrem schlechten Ergebnisse bei der Polymerisation unter einem Druck von 1,0 bar sind auf die Bläschen- und Kavernenbildung im Kunststoff zurückzuführen, die sowohl auf Luft-einschlüsse, als auch auf verdampfendes Monomer zurückzuführen sind. Eine Erhöhung des Druckes auf über 2,2 bar hat eine Verschlechterung der mechanischen Werte zur Folge.

Die Prüfung der verschiedenen Präparate ergab die größte Schlagzähigkeit bei Orthocryl^R und die größte Biegefestigkeit beim Testpräparat, wobei hier das Orthocryl^R in den Werten nur um 2% übertroffen wurde. Die bei der Anteigmethode erzielten Werte waren in der Regel höher als die bei der Streumethode erzielten; in zwei Fällen war die Biegefestigkeit gleich.

Zusammenfassend kann über die Ergebnisse des Schlagbiege- und Biegeversuchs folgendes gesagt werden:

1. Die Prüfkörper aus Orthocryl^R wiesen allgemein eine Anisotropie (Zweiseitigkeit) auf.
Es ergaben sich bei den Prüffarten A und B jeweils unterschiedliche Werte; bei der Polymerisation in Gipshohlformen waren die bei Prüffart A erzielten Werte etwas höher als die bei Prüffart B erzielten.
2. Die nach Polymerisation in Gipshohlformen ermittelten Werte von Orthocryl^R waren etwas günstiger als die nach Polymerisation in der Metallhohlform ermittelten.
3. Die Polymerisation von Orthocryl^R im Tiefziehgerät ist wegen der geringen Schlagzähigkeit und Biegefestigkeit nicht zu empfehlen.
4. Orthocryl^R wird am besten nach Herstellerempfehlung polymerisiert. Jede Änderung der Verhältnisse im Drucktopf zieht eine Verschlechterung der mechanischen Werte nach sich. Bei der Polymerisation an Luft von 40° C bei 2,2 bar kommen die mechanischen Eigenschaften den bei der Polymerisation nach Herstellerempfehlung erzielten am nächsten.
5. Orthocryl^R besitzt die ausgewogensten mechanischen Eigenschaften unter den geprüften Präparaten.

6. Bei Anwendung der Anteilsmethode sind die mechanischen Eigenschaften aller geprüften Präparate meist etwas besser als bei Anwendung der Streumethode.
7. Ein Vergleich der Ergebnisse mit anderen, in der Literatur angegebenen Werten, ist wegen der bisher nicht beschriebenen Anisotropie und der unterschiedlichen Herstellung der Prüfkörper nicht möglich.

Orthocryl^R besitzt bei der Polymerisation in verschiedenen Hohlformen einen unterschiedlichen Gehalt an Restmonomer. Der Gehalt war am höchsten, wenn in der Metallhohlform polymerisiert wurde, und am niedrigsten bei Gebrauch der unisolierten Gipshohlform. Die Werte der isolierten Gips-hohlform liegen dazwischen. Offensichtlich kann ein Monomer-überschuß beim unisolierten Gips besser wegdiffundieren als beim isolierten Gips; während das Metall eine Diffusion vollständig verhindert und somit überschüssiges, freies Monomer in das Kunststoffgefüge mit eingebaut wird.

Wurde Orthocryl^R folienisoliert im Tiefziehgerät polymerisiert, so zeigte sich bei Anwendung der Streumethode ein noch höherer Restmonomergehalt. Durch die zusätzliche Isolation gegen das Wasserbad wird ein Austritt von überschüssigem Monomer noch weitgehender vermieden.

Auch bei der Variation der Polymerisationsbedingungen bei Orthocryl^R zeigten sich Unterschiede im Restmonomergehalt. Während die Werte bei den Variationen allgemein bis zu 18% niedriger und bis 6% höher waren als bei der vorschriftsmäßigen Polymerisation, waren sie bei der Polymerisation in 20° C warmen Wasser am niedrigsten (41% niedriger bei Anteilsmethode).

Dies läßt vermuten, daß bei niedriger Temperatur die Polymerisation vollständiger verläuft als bei höherer, oder daß sich überschüssiges Monomer besser in kühlerem Wasser löst als in wärmerem.

Beim Vergleich der verschiedenen Kunststoffpräparate zeigte sich, daß Orthocryl^R zusammen mit Forestacryl Strong^R die höchsten Werte an Restmonomergehalt aufwiesen, wobei Forestacryl Strong^R das Orthocryl^R bei der Anteilmethode noch um 22% übertraf. Die niedrigsten Werte wurden bei Levopress^R hergestellt, das bei der Anteilmethode um 46% und bei der Streumethode um 86% unter den Werten von Orthocryl^R lag.

Diese Tatsache läßt sich vielleicht dadurch erklären, daß jenen Präparaten, die sich am besten nach der Modelliermethode verarbeiten lassen, auch mehr an Polymerisationsverzögerern beigemischt ist. Deshalb ist der Polymerisationsgrad bei Orthocryl^R und Forestacryl Strong^R geringer als bei Levopress^R und der Restmonomergehalt folglich höher.

Bei allen ermittelten Restmonomerwerten war stets der nach Anwendung der Anteilmethode festgestellte Wert höher als derjenige, der nach Anwendung der Streumethode festgestellt wurde.

Es ist daher anzunehmen, daß bei der Streumethode das Mengenverhältnis von Monomer zu Polymer ausgewogener ist als bei der Anteilmethode und deshalb weniger freies Restmonomer nach dem Polymerisationsvorgang im Kunststoffgefüge eingebaut ist. Einzige Ausnahme war die Polymerisation von Orthocryl^R im Wasserbad von 20° C.

Beim Anteigen des Kunststoffgemisches nach Herstellerempfehlung

Teig nicht zu zähflüssig werden zu lassen. Wird gestreut, so saugt das Polymer immer die richtige Menge Monomer auf, ein etwaiger Monomerüberschuß wird am Schluß durch einen Überschuß Pulver verbraucht.

Zusammenfassung der Ergebnisse der Restmonomerbestimmung:

1. Der Gehalt an Restmonomer ist bei Anwendung der Streumethode geringer als bei Anwendung der Anteigmethode.
2. Hohlformen aus durchlässigem Material (z.B. Gips) bedingen einen niedrigeren Restmonomergehalt als solche aus undurchlässigem Material (z.B. Metall, Kunststofffolien).
3. Nach Vorschrift polymerisiertes Orthocryl^R weist einen höheren Restmonomergehalt auf als bei variierten Polymerisationsbedingungen.
4. Die Präparate Orthocryl^R und Forestacryl Strong^R weisen den höchsten Gehalt an Restmonomer auf, Levopress^R den geringsten.

Ein Vergleich der gefundenen Restmonomerwerte mit den in der Literatur angegebenen Werten von 1,7 - 5% bei Kaltpolymerisaten ist wegen der verschiedenen Arten der Restmonomerbestimmung problematisch. Unsere Werte scheinen sich jedoch gut in das Spektrum einzureihen.

Die klinische Bedeutung des Restmonomergehaltes ist weitgehend umstritten. Während einige Autoren von beträchtlichen Wirkungen auf die Mundschleimhaut sprechen, die Zungenbrennen, Reizungen, allergische Reaktionen und Ulzerationen hervorrufen können (OVERDIECK (1952), RINK (1952), PASSOW (1955), MÜLLER (1957), MOHR (1957), SCHROERS (1973)), bezweifeln andere die Verantwortlichkeit des

Restmonomers für solche Erscheinungen. MARXKORS (1962) hält es für unmöglich, daß das Restmonomer das "Zungen- Gaumen-brennen" hervorrufen kann, da diese Beschwerden nach Herausnehmen einer Prothese meist spontan abklingen; wohingegen durch Tierversuche nachgewiesen wurde, daß durch Monomer verursachte toxische Gewebsschädigungen erst nach längerer Zeit abheilen. Nach SCHMIDT (1970) wird die Bedeutung des Restmonomers überbewertet, da nur das in der Kunststoffoberfläche vorhandene Restmonomer Reizungen hervorrufen kann, wobei der Rest im Kunststoff "eingemauert" bleibt. Dieses Oberflächen-Restmonomer wird im Wasser in 36 Stunden bis 40 Tagen ausgelaugt. Bei einer großen Anzahl von Patienten, die aus Kaltpolymerisaten gefertigte kieferorthopädische Apparate trugen, wurden überdies keine Schleimhautveränderungen und daraus resultierende Beschwerden beobachtet.

Das Verhalten der Werkstoffe bei der Verarbeitung nach der Modelliermethode war unterschiedlich. Das Präparat Orthocryl^R erwies sich als das am meisten ausgewogene, während die übrigen Präparate den Anforderungen in verschiedenen Punkten weniger genügten.

Zusammenfassend kann gesagt werden:

Orthocryl^R läßt sich nach der Modelliermethode sehr gut, Forestacryl Strong^R gut verarbeiten, während die anderen Präparate, besonders bei der Streumethode, Schwierigkeiten bereiten. Das Präparat Orthocryl^R scheint vom Hersteller besonders gut auf die Modelliermethode abgestimmt zu sein.

Bei der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung von Bruchflächen fiel u.a. auf, daß fast in allen untersuchten Prüfkörpern eine mehr oder weniger große Anzahl von Polymer-

kügelchen vorhanden war, die keine oder nur eine schlechte Verbindung zum umgebenden Kunststoffgefüge hatten. Dies zeigt, daß das größte Problem bei der Streumethode die Benetzung der Pulverteile durch das Monomer ist. Je besser die Benetzbarkeit des Pulvers ist, desto weniger Polymerkügelchen finden sich im Kunststoffgefüge, was natürlich einen positiven Einfluß auf dessen Festigkeit hat.

Es fanden sich in den Präparaten Orthocryl^R und Levopress^R wenige Polymerkügelchen mit schlechter Verbindung; in Forestacryl Strong^R und im Testpräparat viele; hingegen in Orthoresin^R keine.

Die Auswertung der rasterelektronenmikroskopischen Bilder ergab außerdem, daß das Gefüge der Polymerkügelchen offenbar homogener ist als das Gefüge des polymerisierten Monomers. Bei Orthocryl^R, das bei einem Druck von nur 1,0 bar polymerisiert worden war, wurden große Luftkavernen festgestellt; die Verbindung Kügelchen - Monomergefüge schien jedoch nicht verschlechtert.

Praktische Hinweise:

1. Bei der Durchführung der Modelliermethode sollte darauf geachtet werden, daß das Gipsmodell in warmem Wasser gewässert wird, da sonst eine Durchbiegung des Kunststoffobjektes zu erwarten ist.
2. Der Kunststoffteig sollte beim Modellieren nicht in einer bestimmten Richtung glattgestrichen und bearbeitet werden, da sonst eine Verformung des Objektes zu erwarten ist.
3. Die Herstellerempfehlungen für die Polymerisation sollten genau beachtet werden; Veränderung der Parameter bedingen

immer eine Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften des Kunststoffes.

5. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden verschiedene Kaltpolymerisate, die zur Herstellung von kieferorthopädischen Apparaturen benützt werden, werkstoffkundlich untersucht. Von Interesse waren dabei die Varianten Anteig- und Streumethode der Modelliermethode, der Einfluß des Materials von Hohlformen, das Verhalten des Präparates Orthocryl^R bei variierten Polymerisationsbedingungen, und die Eigenschaften von 5 verschiedenen Präparaten.

Folgende Werkstoffprüfungen wurden vorgenommen: Biege- und Schlagbiegeversuch, Restmonomerbestimmungen, und raster-elektronenmikroskopische Untersuchungen. Außerdem wurde das Verhalten der Werkstoffe während der Verarbeitung überprüft. Es wurden 350 Dynstat-Prüfkörper in der gleichen Art und Weise wie kieferorthopädische Apparaturen nach der Modelliermethode auf Gips- und Metallhohlformen hergestellt. Diese Art der Prüfkörperherstellung erwies sich als problematisch; es wurde deshalb eine Methode entwickelt, die eine reproduzierbare Prüfkörperherstellung nach der Modelliermethode zuläßt.

Es wurden folgende Ergebnisse festgestellt:

1. Bei der Durchführung des Biege- und Schlagbiegeversuches ist die Biege- und Schlagrichtung in Bezug auf die Lage, welche die Prüfkörper beim Polymerisationsvorgang in der Hohlform hatten, von Bedeutung (Anisotropie der Prüf-

körper). Es können also beim gleichen Prüfkörper jeweils 2 unterschiedliche Meßwerte gefunden werden.

2. Die Festigkeit der geprüften Präparate ist bei der Streumethode meistens kleiner als bei der Anteigmethode.
3. Der Gehalt an Restmonomer ist bei der Streumethode kleiner als bei der Anteigmethode.
4. Variationen der Polymerisationsbedingungen ziehen stets eine Verschlechterung der Festigkeit von Orthocryl^R nach sich, wobei sich die Minderung des Polymerisationsdruckes besonders negativ auswirkt.
5. Orthocryl^R ist das in Bezug auf die mechanischen Werte und auf die Verarbeitungseigenschaften am meisten ausgewogene Präparat.
6. Im Kunststoffgefüge sind mehr oder weniger häufig Polymerkügelchen anzutreffen, welche eine geringe Bindung zum umgebenden polymerisierten Monomer besitzen. Dies ist offensichtlich eine Folge der Verarbeitungseigenschaften oder der Polymerisationsbedingungen.

6. Schriftenverzeichnis

- Bawendi, B.: Formänderungen von Prüfkörpern aus Palapress^R, Paladur^R, Coresin^R, Combidur^R und Andoran^R in Abhängigkeit von der Verarbeitung und Aufbewahrung
Med. Diss. Köln 1971
- Berlage, A., Fichtner, J., Marxkors, R., Niemann, J. und Thomas, K.D.: Klinische Erfahrungen mit neueren Prothesenkunststoffen
Quintessenz zahnärztl. Lit. 15, 51 - 57 (1964)
- Breustedt, A., Gerstenberger, F. und Trappe, A.: Vergleichende werkstoffkundliche Untersuchungen an verschiedenen Dentalplasten (Teil 3)
Dtsch. Stomat. 19, 581 - 588 (1969)
- Breustedt, A., Kunth, D. und Tappe, A.: Vergleichende werkstoffkundliche Untersuchungen an verschiedenen Dentalplasten (Teil 1)
Dtsch. Stomat. 19, 248 - 256 (1969)
- Brauer, G.: Chemische Analyse von Methacrylat-Kunststoffen
Dtsch. zahnärztl. Z. 30, 672 - 679 (1975)
- Dentaurum Informations-Service Nr. 26: Orthocryl^(R). Die bunte Palette. 10. Aufl. (1979)
- Dewein, H.: Einführung in die zahnärztlichen Kunststoffprobleme
Dtsch. zahnärztl. Z. 13, 1346 - 1352 (1958)
- DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): Biegeversuch und Schlagbiegeversuch an Dynstat-Probekörpern
DIN Normblatt 53 435, Beuth-Verlag, Berlin - Köln (1977)
- Eichner, K. (Hrsg.): Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung.
Bd. 1: Grundlagen und Verarbeitung.
Bd. 2: Werkstoffe unter klinischen Aspekten.
Dr. Alfred Hüthig Verlag, 4. Auflage, Heidelberg 1981
- Fa. Forestadent, Pforzheim
Verarbeitungshinweise für Orthoresin^R

Fa. De Trey, Wiesbaden

Verarbeitungshinweise für Forestacryl Strong^R

Fritz, W.: Vergleichende Untersuchungen über die physikalischen Eigenschaften schnellhärtender und normal polymerisierender Kunststoffe

Med. Diss. Greifenwald 1956

Groß, A: Ist die Verwendung von Kaltpolymerisat bei der Herstellung definitiver Prothesen nach dem heutigen Entwicklungsstand zu vertreten?

Quintess. d. Zahntechnik 3, 1 - 10 (1977)

Heindl, M.: Zahnfarbene Autoplaste

Med. Diss. Erlangen - Nürnberg 1965

Heinze, W.: Biegebruchfestigkeit von zahnärztlichen Füllungskunststoffen

Med. Diss. Berlin 1974

Hippe, J.R.: Die Auswirkung der Vergütung auf die mechanischen Eigenschaften zahnärztlicher Kunststoffe

Med. Diss. Berlin 1964

Hofmann, G.: Formänderungen von Prothesen und Prüfkörpern aus Polymethacrylsäuremethylester (PAM) in Abhängigkeit von der Verarbeitung

Med. Diss. Köln 1969

König, K.: Die Restmonomerabgabe bei kieferorthopädischen Apparaturen aus schnellhärtendem Kunststoff.

Dtsch. Stomat. 16, 816 - 824 (1966)

Knoll, E.: Vergleichende Untersuchungen der Prothesenkunststoffe Optodont-Extra, PK 10, Orthocryl und Mystic 100 im Hinblick auf Dauerbiegefestigkeit, Biegefestigkeit, Schlagbiegefestigkeit, Elastizitätsmodul und Härte

Med. Diss. Würzburg 1965

Kollmannsperger, P. und Viohl, J.: Biegebruchfestigkeit von Füllungsstoffen. Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis.

Dtsch. zahnärztl. Z. 32, 529 - 532 (1977)

- Kracke, F.: Vergleichende Untersuchungen neuer Prothesen-
kunststoffe unter besonderer Berücksichtigung der
Dauerbiegefestigkeit, der Biegefestigkeit und der
Schlagzähigkeit. Entwicklung einer Methode, den
Elastizitätsmodul von Kunststoffen mit dem Dynstat-
Gerät zu bestimmen.
Med. Diss. Hamburg 1970
- Kühl, W. und Heitmann, E: Molekulargewichts- und Restmono-
merbestimmungen an Paladon bei unterschiedlichen
Anmischungsverhältnissen.
Dtsch. Zahnärztebl. 15, 5 - 6 (1961)
- Lehmann, H.: Ein Beitrag zum Verhalten der Mundschleim-
haut unter Prothesen.
Dtsch. Zahnärztebl. 15, 181 - 185 (1961)
- Marxkors, R.: Zum Problem des Gaumenbrennens unter Zahn-
prothesen
Dtsch. Zahnärztebl. 16, 283 - 288 (1962)
- Mazouri, M.: Die Überdruckpolymerisation. Vergleichende
Untersuchungen der physikalischen und chemischen Eigen-
schaften von Autopolymerisaten in Abhängigkeit von
der Polymerisationsführung.
Med. Diss. Erlangen - Nürnberg 1968
- Meyer, H.: Untersuchungen der Haftfestigkeit, Biegefestig-
keit, Härte und Druckfestigkeit von zwei Verblend-
kunststoffen unter Anwendung dreier Polymerisationsver-
fahren.
Med. Diss. Hamburg 1971
- Mohr, H.J.: Untersuchungen über die Ursache akuter Mund-
schleimhautläsionen nach Applikation von "Palavit 55"
und "Paladon spezial".
Dtsch. Zahnärztebl. 11, 113 - 118 (1957)
- Müller, W.: Akrylsäureschäden
Dtsch. Zahnärztebl. 11, 551 (1957)
- Overdiek, H.F.: Palavit
Zahnärztl. Welt 7, 302 - 304 (1952)

- Passow, H.: Über die Bedeutung der Restmonomere für die
Paßgenauigkeit und Maßhaltigkeit von Zahnprothesen
aus Acrylat.
Dtsch. Zahnärztebl. 9, 816 - 817 (1955)
- Phillips, R.W.: Science of Dental Materials.
W.D. Saunders Co. Philadelphia, London, Toronto 1973,
S. 159 - 196
- Rehberg, H.J.: Die neuen SI-Einheiten und ihre Anwendung
in der Zahnheilkunde
Dtsch. Zahnärztekalendar 1979
Carl Hanser Verlag, München, S. 173 - 178
- Rink, G.: Die schnellhärtenden Kunststoffe
Dtsch. zahnärztl. Z. 7, 763 - 765 (1952)
- Rink, G.: Der neue Prothesenwerkstoff Optodont
Dtsch. Zahnärztebl. 10, 1 - 5 (1956)
- Ritze, H., Franz, G. und Kühl, W.: Beitrag zur Verwendung
gespritzter Prothesenkunststoffe.
Dtsch. zahnärztl. Z. 17, 106 - 112 (1962)
- Rossiwall, B.: Werkstoffe für die Kieferorthopädie.
In: Eichner, K. (Hrsg.): Zahnärztliche Werkstoffe
und ihre Verarbeitung Band 2: Werkstoffe unter
klinischen Aspekten
Dr. Alfred Hüthig Verlag, Heidelberg 1981, S. 231 - 248
- Scheuermann, H.: Zum Restmonomergehalt von Prothesenwerk-
stoffen
Dental-Labor 29, 1695 - 1696 (1981)
- Scheuermann, H.: Bestimmung des Monomergehaltes von Knochen-
zementen und Bestimmung der Monomerfreisetzung an
wäßrige, physiologische Medien, während der Verarbei-
tungsphase und im ausgehärteten Zustand.
Ingenieurarbeit Fachhochschule Fresenius, Wiesbaden 1976
- Schmidt, A.: Kaltpolymerisate. Ein Bericht über ihre Eigen-
schaften, Einsatzmöglichkeiten und Vorteile.
Dental-Labor 18, 17 - 22 (1970)

- Schmidt, A und Diener, A.: Richtungen der Kunststoffentwicklung
Dental-Labor 11, 56 - 62 (1963)
- Schroers, K.: Literaturstudie über die Eigenschaften dentaler Kunststoffe
Med. Diss. Münster 1973
- Schwickerath, H.: Der Einfluß der Isolierung der Gipsform auf die Materialeigenschaften der Kunststoffe.
Dtsch. zahnärztl.Z. 21, 901 - 905 (1966)
- Schwickerath, H.: Über die Festigkeit der Prothesen-Basis-Materialien
Dtsch. zahnärztl. Z. 18, 1233 - 1239 (1963)
- Schwickerath, H.: Zur Frage der Werkstoffprüfung
Zahnärztl. Welt / Reform 68, 520 - 524 (1967)
- Spreter v. Kreudenstein, Th.: Über das Zustandekommen der Gewebsveränderungen im Zahnmark bei der Einwirkung des monomeren Methacrylsäuremethylesters.
Dtsch. Zahnärztebl. 10, 487 - 489 (1956)
- Stahl, A.: Bewährte Halte- und Stützelemente für die Platte zur kieferorthopädischen Behandlung
Dtsch. zahnärztl. Z. 13, 1149 - 1159 (1958)
- Wergen, H.-G.: Der Einfluß der Prüfkörperabmessungen auf die mechanischen Eigenschaften von Prothesenbasismaterialien
Med. Diss. Köln 1976

Herrn Professor Dr. A. Stahl möchte ich für die Arbeitsmöglichkeit an der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universität München danken.

Herrn Privatdozent Dr. Dr. B. Rossiwall danke ich für die Überlassung des Themas und seine stets freundliche Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchungen.

Herrn Professor Dr. F. X. Eder und Herrn Werkmeister Belzner vom Zentralinstitut für Tieftemperaturforschung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften in Garching gilt mein besonderer Dank für das präzise Schneiden der Prüfkörper.

Herrn H. Scheuermann von der Fa. Kulzer in Bad Homburg möchte ich für die Durchführung der gaschromatographischen Restmonomerbestimmungen herzlich danken.

Der Gesellschaft der Freunde und Förderer der Universität München sei an dieser Stelle für das der Poliklinik für Kieferorthopädie gespendete Dynstat-Gerät gedankt, das zur Durchführung der Biege- und Schlagbiegeversuche diente.

Für die freundliche Hilfestellung bei den Untersuchungen mit dem Rasterelektronenmikroskop im Institut für klinisch-theoretische Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Freien Universität Berlin ist Herrn Professor Dr. H. Newesely herzlich gedankt.

Lebenslauf

Name: Bartels, Rainer
geboren: 14. Januar 1945 in Hersbruck

Schulbildung: 4 Jahre Volksschule in Nürnberg und Fürth,
9 Jahre an der Oberrealschule Fürth,
Abitur im Juni 1965

Studium: 10 Semester Studium der Zahnheilkunde an
der Universität Erlangen / Nürnberg

Examen: Frühjahr 1971 in Erlangen

Bestallung als
Zahnarzt: Juli 1971

Berufliche
Tätigkeit: Assistenzzahnarzt ab Januar 1972 in
freier Praxis und bei der Bundeswehr;
Weiterbildungsassistent für Kieferortho-
pädie in freier Praxis und an der
Poliklinik für Kieferorthopädie der
Universität München (Direktor:
Professor Dr. A. Stahl)
Ab März 1980 Berechtigung zum Führen der
Gebietsbezeichnung "Kieferorthopäde".

Niederlassung als Kieferorthopäde in
eigener Praxis in München im Dezember 1981.

